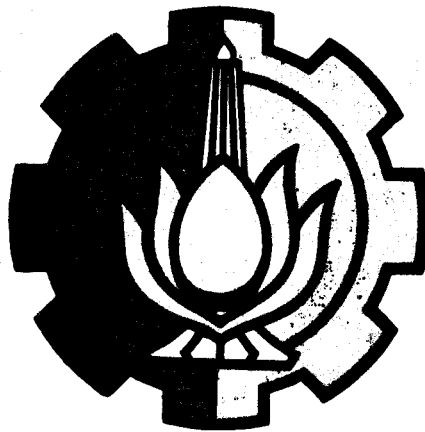


TUGAS AKHIR
TEKNIK COR

**PENGARUH TEMPERATUR TUANG PENGECORAN
PADUAN ALUMINIUM 222 TERHADAP SIFAT MEKANIS
DAN STRUKTUR MIKRO**

RSM
673.722 2
MUL
P-1
1997



Oleh :

ACH. ARIF MULYAMAN
2194 030 026

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1997**

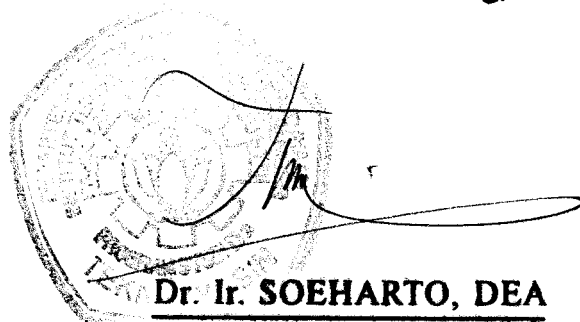
**PENGARUH TEMPERATUR TUANG PENGECORAN
PADUAN ALUMINIUM 222 TERHADAP SIFAT MEKANIS
DAN STRUKTUR MIKRO**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Akademis - Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing,



Dr. Ir. SOEHARTO, DEA

NIP. 130 937 168

SURABAYA

Juli, 1997

ABSTRAKSI

Karakteristik yang terbaik dari Aluminium adalah bobot yang ringan, ketahanan terhadap korosi yang tinggi serta penghantar panas yang baik. Penggunaan paduan Aluminium banyak digunakan dalam pembuatan berbagai produk salah satunya produk peralatan rumah tangga. Dari berbagai proses pengecoran pada industri kecil kebanyakan mementingkan kehalusan permukaan produk tanpa memikirkan sifat mekanisnya, sehingga produk tersebut memiliki kualitas yang rendah dipandang dari segi sifat mekanisnya.

Bahan yang dipakai dalam penelitian adalah paduan Aluminium 222 dengan proses pengecoran menggunakan cetakan permanen yang dibuat dari pipa Cast Iron sehingga cetakan dapat dipakai berulang - ulang. Proses pengecoran dilakukan dengan meleburkan paduan Aluminium 222, pada temperatur tuang yang bervariasi yaitu : 675°C , 700°C , 725°C dan 750°C dengan waktu tuang ± 5 detik dan pembongkaran dilakukan dalam keadaan dingin. Dari hasil pengecoran dibuat spesimen uji tarik menurut standart ASTM B 557M - 84, spesimen uji kekerasan menurut standart ASTM E 18 - 84 dan uji metallografi menurut standart ASTM E 3 - 80.

Berdasarkan hasil pengujian tarik dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik tergantung kepada temperatur tuang, semakin naik temperatur tuang semakin tinggi kekuatan tariknya. Kekuatan tarik tertinggi pada paduan Aluminium 222 diperoleh dari hasil pengecoran dengan temperatur tuang 750°C dan regangan tertinggi pada hasil pengecoran dengan tempertur tuang 675°C . Berdasarkan uji kekerasan pada paduan Aluminium 222 dapat diketahui kekerasan tertinggi terjadi pada tempertur tuang 750°C sehingga semakin naik tempertur tuang semakin tinggi kekerasan spesimen.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT. Yang Maha pengasih dan Maha Penyayang, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Materi tugas akhir yang penulis bahas dalam penelitian ini adalah mengenai :

“ Pengaruh Temperatur Tuang Pengecoran Paduan Aluminium 222 Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikronya “.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis berusaha semaksimal mungkin untuk menguraikan serta menganalisa hal - hal yang berkaitan dengan materi tugas akhir ini.

Selama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, penulis banyak memperoleh bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati ijinilah penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar - besarnya kepada :

- Bapak Dr. Ir. Soeharto, DEA selaku dosen pembimbing.
- Ka. CV. Perkasa, Industri Rumah Tangga yang telah memberikan fasilitas kepada penulis.
- Ka. Balai Pengembangan Dan Penelitian Industri yang telah memberikan bantuan dan kesempatan kepada penulis.
- Ka. Lab. D-III Teknik Mesin FTI - ITS yang telah memberikan fasilitas kepada penulis.
- Bapak, Ibu, saudara - saudaraku yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.
- Rekan - rekanku yang telah memberikan bantuan kepada penulis.

Kami menyadari sepenuhnya bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan kelemahan, baik dalam penulisannya maupun materi yang disajikan. Berpangkal dengan hal tersebut maka penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun agar penulisan selanjutnya dapat lebih sempurna.

Surabaya, Juli 1997

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Permasalahan	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.5.1 Studi Literatur	3
1.5.2 Percobaan	3
1.5.3 Analisa Data	3
1.5.4 Kesimpulan	3
BAB 2 DASAR TEORI	4
2.1 Proses Pengecoran	4
2.2 Proses Pengecoran Dengan Cetakan Permanen	5

2.3 Paduan Aluminium	8
2.4 Sifat Dan Penggunaan Aluminium	9
2.5 Kristalisasi	10
2.6 Cacat Pada Kristal	12
2.6.1 Cacat Titik	12
2.6.2 Cacat Garis	13
2.6.3 Cacat Bidang	15
2.7 Deformasi Plastik Pada Kristal	16
2.7.1 Deformasi Dengan Slip	17
2.7.2 Deformasi Dengan Twinning	18
2.8 Diffusi	19
BAB 3 PROSEDURE PERCOBAAN	21
3.1 Pembuatan Cetakan	21
3.1.1 Bahan Cetakan	21
3.1.2 Proses Pembuatan Cetakan	22
3.2 Proses Pengecoran	23
3.3 Persiapan Benda Uji	24
3.3.1 Benda Uji Tarik	24
3.3.2 Benda Uji Kekerasan	25
3.4 Pelaksanaan Pengujian	25
3.4.1 Pengujian Tarik	25
3.4.2 Pengamatan Metallografi	28
3.4.3 Pengujian Kekerasan	30

BAB 4 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN	35
4.1 Hasil Pengujian	35
4.1.1 Hasil Pengujian Tarik	35
4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell	36
4.1.3 Grafik Dari Data Pengujian	37
4.1.4 Hasil Pengamatan Metallografi	41
4.2 Analisa Terhadap Kekuatan Tarik	45
4.2.1 Analisa Kekuatan Tarik	45
4.2.2 Analisa Terhadap Regangan	45
4.3 Analisa Hasil Pengamatan Metallografi	46
4.4 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan	46
BAB 5 KESIMPULAN	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.2	: Cetakan Permanen Dengan Grafitasi	7
Gambar 2.5	: Struktur Dendritik	11
Gambar 2.6.1.1	: Cacat Titik	12
Gambar 2.6.1.2	: Vacant Dan Interstitials	13
Gambar 2.6.2.1	: Dislokasi Pada Kristal	14
Gambar 2.6.2.2	: Pergerakan Edge Dislocation	14
Gambar 2.6.2.3	: Gerakan Dislokasi	15
Gambar 2.6.3	: Susunan Atom Pada Batas Butir	16
Gambar 2.7.1	: Pergeseran Atom	17
Gambar 2.7.2	: Kristal Yang Mengalami Twinning	18
Gambar 2.8	: Skema Mekanisme Diffusi	19
Gambar 3.1.1	: Pipa Yang Dipotong Horizontal	22
Gambar 3.1.2	: Posisi Cetakan	23
Gambar 3.2	: Proses Pengecoran Paduan Aluminium 222	23
Gambar 3.3.1	: Benda Uji Tarik	24
Gambar 3.4.1	: Grafik Pengujian Tarik	26
Gambar 3.4.3.1	: Cara Kerja Mesin Pengujian Kekerasan Rockwell	31
Gambar 3.4.3.2	: Mesin Pengujian Kekerasan	34
Gambar 4.1.1	: Grafik Hub. Antara Temp. Tuang Dengan Tensile Strength	37
Gambar 4.1.2	: Grafik Hub. Antara Temp. Tuang Dengan Yield Strength	38
Gambar 4.1.3	: Grafik Hub. Antara Temp. Tuang Dengan Persentase Perpanjangan .	39

Gambar 4.1.4 : Grafik Hub. Antara Temp. Tuang Dengan Kekerasan Rockwell	40
Gambar 4.1.3.1 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 675°C Perbesaran 200X	41
Gambar 4.1.3.2 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 700°C Perbesaran 200X	41
Gambar 4.1.3.3 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 725°C Perbesaran 200X	42
Gambar 4.1.3.4 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 750°C Perbesaran 200X	42
Gambar 4.1.3.5 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 675°C Perbesaran 200X	43
Gambar 4.1.3.6 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 700°C Perbesaran 200X	43
Gambar 4.1.3.7 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 725°C Perbesaran 200X	44
Gambar 4.1.3.8 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temp. Tuang 750°C Perbesaran 200X	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.4.3.1 : Skala Kekerasan Rockwell Dan Huruf Depan	31
Tabel 4.1.1 : Hasil Pengujian Tarik	35
Tabel 4.1.2 : Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell	36

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dari sejarah, sejak pertama kali manusia mengenal logam sebagai pembuat alat - alat yang diperlukan untuk menunjang kehidupannya, maka manusia kemudian berusaha untuk mengembangkan cara pembuatan alat - alat tersebut. Pengecoran logam merupakan proses pembuatan yang pertama kali di kenal manusia, yang kemudian di susul dengan proses pembentukan, proses pemotongan dan lain sebagainya.

Penggunaan paduan Aluminium banyak digunakan dalam pembuatan produk seperti produk peralatan rumah tangga. Di dalam pembuatan suatu produk dituntut untuk memenuhi kriteria yang lebih kompleks seperti kehalusan permukaan, kekuatan, ketangguhan, kekerasan dan komposisi kimia. Hal ini dikarenakan produk - produk harus memiliki unjuk kerja yang optimal di pandang dari segi pemakaian dan juga pada proses pembuatannya.

1.2 Perumusan Permasalahan

Permasalahan yang akan di kaji dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh temperatur penuangan (675°C , 700°C , 725°C dan 750°C) terhadap kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan dan struktur mikro material paduan Aluminium 222 pada hasil pengecoran.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melihat dan membandingkan perubahan sifat mekanik paduan Aluminium yaitu kekuatan, ketangguhan, kekerasan dan struktur mikro yang terjadi akibat adanya pengaruh perbedaan temperatur tuang pada pengecoran paduan Aluminium 222.

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai acuan kerja pada proses pembuatan produk - produk paduan Aluminium agar sifat mekanik dari produk yang dihasilkan sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan, khususnya pada industri rumah tangga seperti industri rumah tangga CV. PERKASA.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, maka di ambil batasan masalah sebagai berikut :

1. Pengecoran dengan temperatur tuang 675°C , 700°C , 725°C dan 750°C .
2. Waktu penuangan di angap konstan (± 5 detik).
3. Semua material yang digunakan dalam penelitian mempunyai komposisi kimia yang sama dan homogen.
4. Menggunakan bahan paduan Aluminium 222 dan cetakan permanen (Cast Iron).
5. Perpindahan panas dari udara ke cetakan mempunyai kecepatan konstan.
6. Pemanasan cetakan di ambil konstan (400°C).

1.5 Metodologi Penelitian

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan jalan mempelajari buku - buku pedoman atau referensi text book, guna memperoleh landasan teori dan melengkapi penelitian sehubungan dengan masalah percobaan yang dibahas dalam penelitian ini.

1.5.2 Percobaan

Langkah - langkah pelaksanaan percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan bahan dan peralatannya.
2. Melakukan proses pengecoran di industri rumah tangga (CV. PERKASA).
3. Melakukan pengujian tarik dan pengujian metallografi di Balai Pengembangan Dan Penelitian Industri di Jagir Wonokromo 36 Surabaya.
4. Melakukan pengujian kekerasan Rockwell di Laboratorium D-III Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITS.

1.5.3 Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan menganalisa data hasil pengujian tarik, data hasil pengujian kekerasan serta foto struktur mikro material.

1.5.4 Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang ada akan di tarik suatu kesimpulan.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Proses Pengecoran

Proses pengecoran adalah suatu proses pembuatan yang pada dasarnya merubah bentuk logam dengan cara mencairkan logam, kemudian dimasukkan ke dalam suatu cetakan dengan di tuang atau di tekan. Di dalam cetakan ini logam cair akan membeku dan menyusut. Pembekuan coran dimulai dari bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan yaitu ketika panas dari logam cair di ambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku, di mana kemudian inti - inti kristal tumbuh. Bagian dalam dari coran mendingin lebih lambat dari pada bagian luar, sehingga kristal - kristal tumbuh dari inti asal mengarah ke bagian dalam coran dan butir - butir kristal tersebut panjang - panjang seperti kolom.

Produk hasil pengecoran dapat langsung di pakai sebagai produk akhir, akan tetapi kebanyakan masih memerlukan proses lanjut seperti proses pemotongan, penyambungan, proses phisis atau proses penyelesaian lainnya.

Didasarkan atas jenis bahan pola, bahan cetakan dan cara penuangannya maka proses pengecoran dapat dibedakan :

1. Proses pengecoran dengan pasir sebagai bahan cetakan (Sand Casting).
2. Proses pengecoran sentrifugal (Centrifugal Casting).
3. Proses pengecoran dengan cetakan permanen (Permanent Mold Casting).

4. Proses pengecoran cetak tekan (Die Casting).
5. Proses pengecoran dengan pola hilang (Investment Casting).
6. Cara lain yang tidak termasuk di atas.

Setiap jenis pengecoran yang tersebut di atas akan menghasilkan produk dengan sifat - sifat yang berbeda, baik kualitas, kuantitas, ukuran (volume dan bentuk) dan lain sebagainya. Dalam segi perencanaan, pemilihan serta penentuan proses pengecoran harus pula dipertimbangkan adanya faktor ekonomis dan praktis.

2.2 Proses Pengecoran Dengan Cetakan Permanen

Proses pengecoran dengan cetakan permanen banyak digunakan, disebabkan proses pengecoran dapat berulang - ulang sesuai dengan kebutuhan. Cetakan permanen banyak dibuat dari logam dan grafit, kadang - kadang ditambahkan dengan sedikit pasir sebagai inti atau pelapis permukaan rongga cetakan.

Pada umumnya proses pengecoran dengan cetakan permanen terbatas pemakaiannya pada pengecoran logam - logam non ferrous dan paduannya.

Keuntungan proses ini adalah :

1. Cetakan dapat dipakai berulang - ulang.
2. Baik untuk produksi banyak.
3. Menghasilkan logam coran dengan butir - butir yang halus sehingga memberikan kekuatan maksimum seragam dan dapat dipertanggungjawabkan kualitasnya.
4. Ketelitian dan kehalusan permukaan benda cor lebih baik.
5. Tidak banyak memerlukan proses lanjut karena ketepatan ukuran (Ketelitian bentuk) yang baik.

5. Tidak banyak memerlukan proses lanjut karena ketepatan ukuran (Ketelitian bentuk) yang baik.

Kerugian proses ini adalah :

1. Diperlukan perhitungan yang tepat untuk pembuatan cetakan.
2. Karena cetakan dari logam, maka harga cetakan mahal.
3. Bentuk dan ukuran produk sederhana.
4. Untuk bentuk coran yang berbeda, perlu cetakan baru.
5. Tidak dapat untuk mengecor baja.

Proses pengecoran dengan cetakan permanen dapat di bagi menjadi 4 kelompok yaitu :

1. Pengecoran permanen dengan tekanan rendah.
2. Pengecoran permanen dengan gravitasi.
3. Pengecoran tuang.
4. Pengecoran dengan tekanan.

2.2.1 Pengecoran Permanen Dengan Tekanan Rendah

Proses pengecoran dengan cetakan permanen bertekanan rendah, cetakan diletakkan diatas dapur induksi (dapur pemanas). Dapur ditutup rapat dan gas mulia yang bertekanan dialirkan kedalam dapur, sehingga logam cair tertekan ke atas melalui saluran batu tahan api dan masuk kerongga cetakan. Kadangkala rongga cetakan divakumkan untuk mendapatkan coran yang padat serta untuk mempercepat proses pengisian. Lama pendinginan tergantung pada besar kecilnya ukuran coran.

2.2.3 Pengecoran Tuang

Proses pengecoran tuang hampir sama dengan pengecoran grafitasi, hanya lebih sederhana dan pemakaiannya terbatas untuk logam - logam dengan titik lebur yang sangat rendah seperti timah, seng, timbal dan lain sebagainya.

Proses ini sangat sederhana sekali, logam cair dituangkan kedalam cetakan yang segera di balik sehingga logam yang masih cair dapat mengalir keluar. Cara ini hanya diterapkan untuk menghasilkan barang - barang kerajinan, patung, mainan dan hiasan.

2.2.4 Pengecoran Permanen Dengan Tekanan

Proses pengecoran dengan tekanan mirip dengan proses pengecoran permanen sebelumnya, hanya pada proses ini diberikan tekanan untuk memaksa dan mempercepat masuknya logam cair kedalam rongga cetak. Sejumlah logam tertentu dituangkan ke dalam cetakan terbuka dan inti yang pas ditekan masuk sehingga logam cair di desak masuk oleh plunjer (piston pengatur) ke dalam rongga cetakan. Inti dikeluarkan secepatnya setelah logam cair mulai membeku, sehingga hasilnya diperoleh coran yang berongga tipis. Proses ini adalah proses pengecoran permanen dengan tekanan tinggi dan banyak di pakai pada proses pembuatan pelek mobil dan baja ingot.

2.3 Paduan Aluminium

Dalam keadaan murni Aluminium terlalu lunak / lemah, terutama kekakuannya sangat rendah, untuk dapat dipergunakan pada berbagai keperluan teknik. Dengan pepaduan, sifat ini dapat diperbaiki tetapi seringkali sifat tahan korosinya berkurang,

demikian juga keuletannya. Sedikit Mangan, Silikon atau Magnesium masih tidak banyak mengurangi sifat tahan korosi, tetapi Seng, Besi, Timah Putih dan Tembaga cukup drastis menurunkan sifat tahan korosinya.

2.4 Sifat Dan Penggunaan Aluminium

sifat - sifat yang menyebabkan dipilihnya Aluminium adalah ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik.

Sifat tahan korosi pada paduan Aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan Oksid Aluminium pada permukaan Aluminium. Lapisan Oksid ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil tidak bereaksi dengan lingkungannya sehingga melindungi bagian yang dalam. Adanya lapisan Oksid ini satu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di pihak lain menyebabkan Aluminium menjadi sukar di las dan di solder.

Aluminium komersial selalu mengandung beberapa impurity ($\pm 0,8 \%$) biasanya Besi, Tembaga, Silikon dan lain - lain. Adanya impurity ini menurunkan sifat penghantar listrik dan sifat tahan korosi tetapi akan menaikkan kekuatannya hampir dua kali lipat dari Aluminium murni.

Sifat lain yang sangat menguntungkan pada paduan aluminium adalah sangat mudah difabrikasikan. Dapat diforming dengan berbagai cara (rolling, forging, extruding, dan lain - lain).

2.5 Kristalisasi

Kristalisasi merupakan proses pembentukan kristal, yang terjadi pada saat pembekuan, perubahan dari fase cair ke fase padat. Di lihat dari mekanisnya kristalisasi terjadi melalui dua tahap :

1. Pembentukan inti atau pengintian (nucleation).
2. Pertumbuhan kristal (crystal growth).

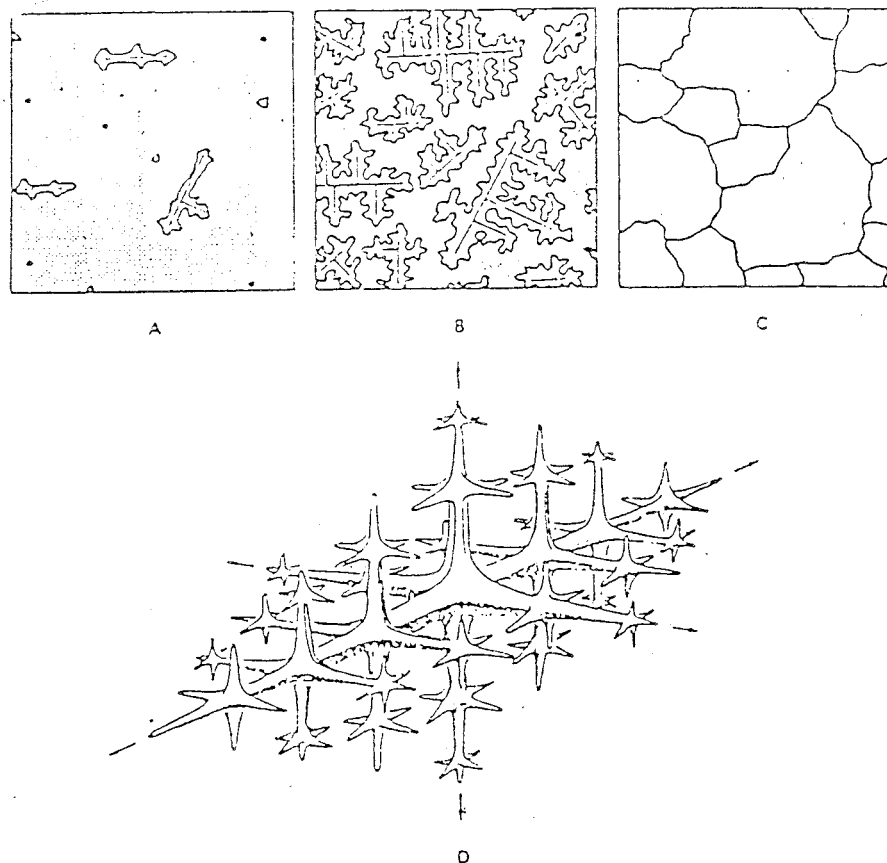
Dalam keadaan cair, atom - atom tidak memiliki susunan teratur tertentu, selalu / mudah bergerak. Dalam keadaan cair, temperaturnya relatif tinggi dan atom memiliki energi cukup banyak sehingga mudah bergerak, tidak ada pengaturan letak atom relatif terhadap atom yang lain.

Dengan turunnya temperatur maka energi atom semakin rendah dan semakin sulit bergerak dan mulai mencari / mengatur kedudukannya relatif terhadap atom lain, mulai membentuk lattice. Ini terjadi pada tempat relatif lebih dingin di mana sekelompok atom menyusun diri membentuk inti kristal.

Inti - inti ini akan menjadi pusat dari proses kristalisasi selanjutnya. Dengan semakin turunnya temperatur makin banyak atom yang ikut bergabung dengan inti yang sudah ada atau membentuk inti yang baru.

Pertumbuhan ini berlangsung dari tempat yang lebih dingin menuju tempat yang lebih panas. Pertumbuhan ini tidak bergerak lurus saja tetapi mulai membentuk cabang - cabang dan ranting - ranting, struktur seperti ini di sebut *struktur dendritik*. Dendrit ini terus bertumbuh ke segala arah, sehingga cabang / ranting dendritik hampir bersentuhan dan sisa cairan yang terakhir akan membeku di sela - sela dendrit ini (lihat gambar 2.5).

Pertemuan satu dendritik kristal dengan lainnya dinamakan *batas butir kristal* (grain boundary) yang merupakan bidang yang membatasi antara dua kristal. Batas butir adalah tempat di mana terdapat ketidak teraturan susunan atom (mismatch) di samping juga biasanya mengandung unsur - unsur ikutan (impurity) lebih banyak.



Gambar 3.14 (A), (B) and (C) show three stages in the dendritic solidification of a pure metal. Note that no traces of the original dendrites remain when solidification is complete. (D) is a three-dimensional representation of a dendrite growing from a melt.

Gambar 2.5 : Struktur Dendritic

2.6 Cacat Pada Kristal (Imperfection)

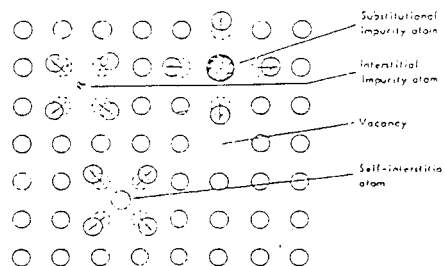
Cacat yang di maksud di sini adalah cacat / ketidak sempurnaan susunan atom dalam kristal (lattice). cacat ini dapat terjadi pada saat pembekuan ataupun oleh sebab - sebab mekanik.

Cacat ini dapat berupa :

1. Cacat titik (point defect)
2. Cacat garis (line defect)
3. Cacat bidang (interfacial defect)
4. Cacat ruang (bulk defect)

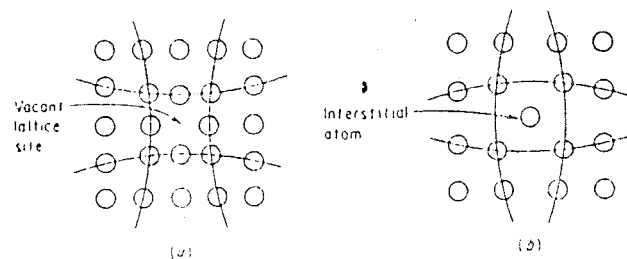
2.6.1 Cacat Titik

Cacat titik dapat berupa kekosongan (vacant) yang terjadi karena tidak terisinya suatu posisi atom pada lattice. Juga dapat terjadi karena salah tempat, posisi yang seharusnya kosong ternyata ditempati atom, terjadi sisipan (interstitials). Mungkin juga ada atom asing yang menggantikan tempat yang seharusnya di isi atom, terjadi substitusi (substitutionals).



Gambar 2.6.1.1 : Cacat Titik

Cacat - cacat ini akan menyebabkan terjadinya tegangan pada lattice. Vacant akan menyebabkan atom - atom disekitarnya tertarik mendekat dan interstitials mengakibatkan atom - atom disekitarnya terdorong saling menjauh (gambar 2.6.1.2).



Gambar 2.6.1.2 : Vacant Dan Interstitials

Pada substitutionals, bila atom pengganti lebih besar maka atom disekitarnya terdorong menjauh dan bila lebih kecil, tertarik saling mendekat.

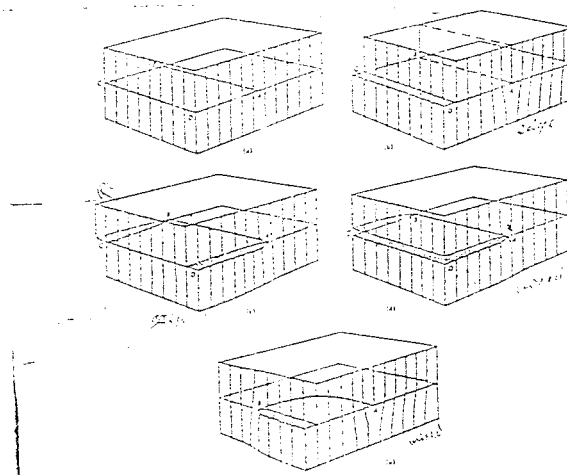
2.6.2 Cacat Garis

Cacat yang menimbulkan distorsi pada lattice yang berpusat pada suatu garis, sering di sebut *dislokasi*. Pada dasarnya ada dua macam dislokasi yaitu *edge dislocation* dan *screw dislocation*. Dapat juga terjadi dislokasi yang merupakan kombinasi keduanya.

Untuk menggambarkan dislokasi di ambil sebuah kristal seperti gambar 2.6.2.1 dan padanya di buat irisan yang mengiris ikatan antar atom menurut bidang ABCD

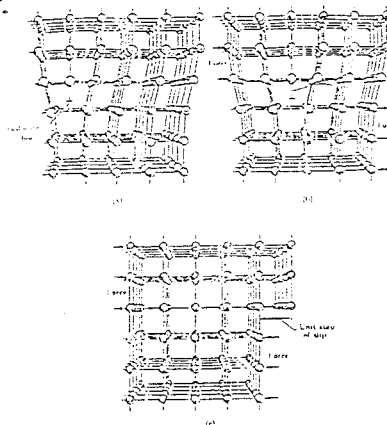
(gambar a), bila bagian atas irisan di dorong hingga baris atom yang di tepi tergeser keatas baris kedua dari irisan bawah, maka akan tampak adanya distorsi yang berpusat di garis AB, gambar b dan garis AB ini dinamakan *garis dislokasi (edge dislocation)*.

Bila dorongan ke arah samping, sejajar AB (gambar c), maka akan terjadi *screw dislokasi*. Dan bila dorongan tersebut membuat suatu sudut terhadap garis AB, maka akan di peroleh *mixed dislocation* (gambar d dan e).



Gambar 2.6.2.1 : Dislokasi pada kristal

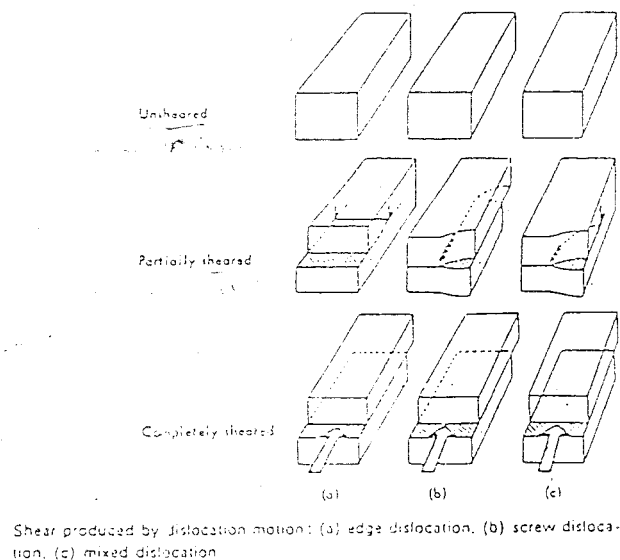
Semua cacat di atas dapat bergeser dalam suatu lattice, baik karena pengaruh thermodinamik maupun gaya mekanik. Lihat gambar 2.6.2.2 menunjukkan bagaimana suatu edge dislocation dapat bergeser.



Gambar 2.6.2.2 : Pergerakan Edge Dislocation

Gerakan dari edge dislocation di mulai dari tepi kristal dengan terbentuknya dislocation line, sebagai akibat dari gaya geser (shear force). Garis dislokasi ini berupa garis lurus sepanjang kristal dan tegak lurus terhadap arah gaya geser. Gaya geser seterusnya akan mendorong garis dislokasi ini dari satu baris atom ke baris atom berikutnya. Baris atom yang telah tergeser ini dikatakan telah mengalami slip dan bidang tempat terjadinya pergeseran ini dinamakan bidang slip (slip plane). Slip plane selalu merupakan bidang yang padat atom.

Pada gambar 2.6.2.3 dapat dibandingkan gerakan dislokasi dari edge, screw dan mixed dislocation.

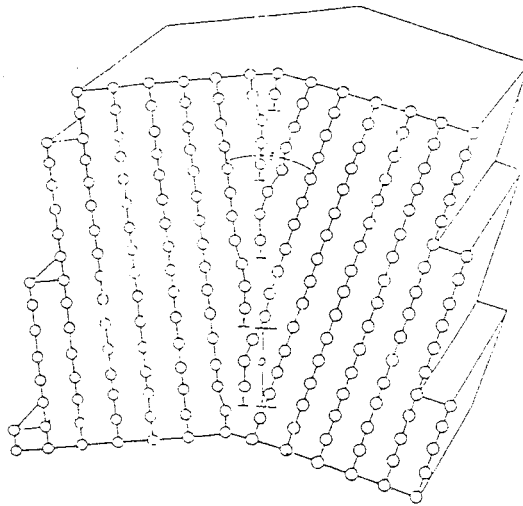


Gambar 2.6.2.3 : Gerakan Dislocation

2. 6 .3 Cacat Bidang

Cacat bidang yang selalu terdapat pada kristal logam adalah grain boundary (batas butir). Pada batas butir selalu terdapat distorsi baik karena pengaruh tegangan

permukaan maupun akibat dari interaksi dengan atom - atom dari kristal tetangganya. Pada gambar 2.6.3 dapat di lihat susunan atom pada suatu batas butir. Tampak bahwa batas butir merupakan daerah yang penuh dislokasi, karenanya ia merupakan daerah yang penuh dengan tegangan. Jadi batas butir merupakan tempat yang menyimpan banyak energi, karena itu banyak peristiwa transformasi di mulai dari batas butir ini.



Gambar 2.6.3 : Susunan Atom Pada Batas Butir, Terlihat Banyak Dislokasi

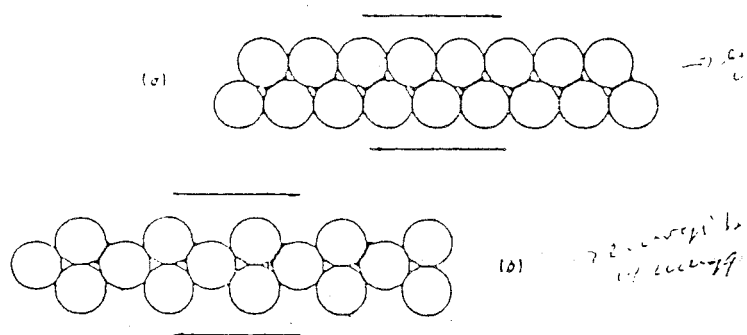
2.7 Deformasi Plastik Pada Kristal

Bila suatu kristal mengalami tegangan maka susunan atom pada kristal itu akan mengalami perubahan posisi, perubahan ini bersifat sementara bila tegangan yang bekerja tidak cukup besar dan akan bersifat permanen bila tegangan sudah melampaui yield. Bila tegangan telah melampaui yield maka garis dislokasi sudah bergeser dan mungkin telah mencapai batas butir, sehingga butir kristal mengalami perubahan bentuk permanen. Perubahan bentuk pada butir kristal mengakibatkan terjadinya perubahan

bentuk pada bentuk luarnya benda. Deformasi (perubahan bentuk) dapat terjadi dengan terjadinya slip dan twining atau kombinasinya.

2.7.1 Deformasi Dengan Slip

Deformasi yang paling sering dijumpai adalah *slip*. Slip terjadi bila sebagian dari kristal tergeser relatif terhadap bagian kristal lain sepanjang bidang kristalografi tertentu. Bidang tempat terjadinya slip dinamakan bidang slip (slip plane) dan arah pergeseran atom pada bidang slip dinamakan arah slip (slip direction). Slip terjadi pada bidang yang paling padat atom dan arah slip juga pada daerah yang paling padat atom, karena untuk menggeser atom pada posisi ini memerlukan energi paling kecil. pada gambar 2.7.1a dapat di lihat bahwa pergeseran atom akan lebih mudah terjadi bila susunanya atomnya lebih rapat. Pada gambar 2.7.1b yang susunan atomnya kurang padat. Atom - atom seolah - olah terkunci di sela - sela atom lainnya dan untuk menggeser atom ini tentu akan memerlukan energi yang lebih besar.



Gambar 3 24 Plastic flow occurs when planes of atoms slip past one another. Close-packed planes do this more easily (a) than planes aligned in another direction (b).

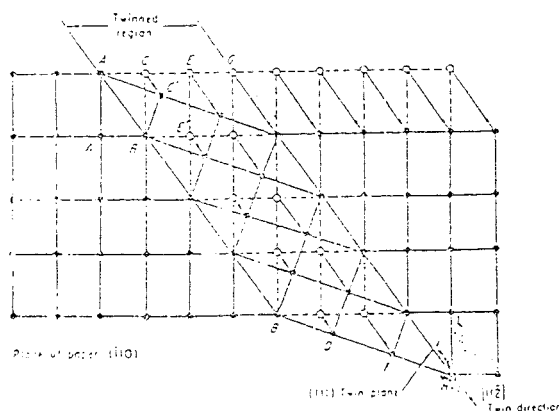
Gambar 2.7.1 : Pergeseran Atom

2.7.2 Deformasi Dengan Twinning

Twinning terjadi bila satu bagian dari butir kristal berubah orientasinya sedemikian rupa sehingga susunan atom dibagian tersebut akan membentuk simetri dengan bagian kristal lain yang tidak mengalami twinning.

Susunan atom pada bagian yang mengalami twinning ini merupakan *mirror image* dari bagian yang tidak mengalami twinning. Bidang yang menjadi pusat simetri antara kedua bagian itu dinamakan *twinning plane*.

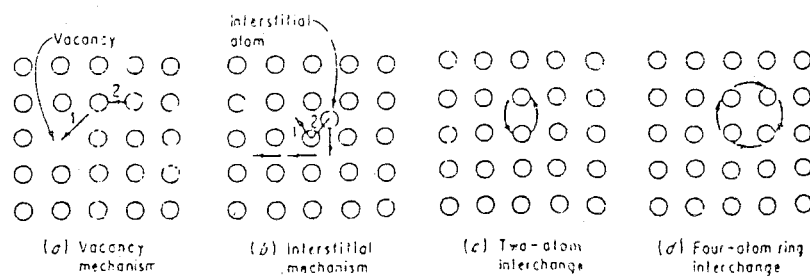
Pada gambar 2.7.2 terlihat bagian dari kristal yang mengalami twinning (twinned region). Pada twinning seluruh atom - atom dari sebagian kristal tergeser ke arah tertentu (twinning direction). Atom - atom di daerah yang tidak mengalami twinning di sebelah kanan twinned region bergeser satu jarak atom pada arah twinning sedang pada twinned region besarnya pergeseran atom sebanding dengan jarak atom tersebut ke twinning plane sehingga posisi akhir atom itu akan merupakan mirror image dari atom di daerah yang tidak mengalami twinning.



Gambar 2.7.2 : Kristal Yang Mengalami Twinning

2.8 Diffusi

Perpindahan atom dengan cara diffusi merupakan hal penting, dengan terjadinya diffusi pada pendinginan yang sangat lambat akan menghilangkan struktur dendritik dan butir kristal menjadi homogen. Ada beberapa kemungkinan mekanisme terjadinya diffusi seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 : Skema Mekanisme Diffusi

Tetapi mekanisme diffusi dengan vacancy adalah paling utama pada logam. Laju diffusi tergantung pada jenis atom yang berdiffusi dan jenis atom tempat diffusi itu berlangsung, ditentukan oleh koefisien diffusi. Dan koefisien diffusi juga tergantung pada temperatur, makin besar bila temperatur makin tinggi. Diffusi akan lebih mudah terjadi pada temperatur yang lebih tinggi.

Jarak tempuh diffusi akan tergantung pada lamanya waktu yang tersedia untuk berlangsungnya diffusi. Karena itu diffusi dikatakan sebagai suatu proses yang temperatur activated and time dependent. Tentunya juga semua proses transformasi yang berlangsung, dengan terjadinya diffusi, seperti pertumbuhan butir (grain growth) dan homogenisasi butir

adalah juga proses yang diffusion controlled, jadi juga temperture actived and time dependent. Artinya dapat tidaknya suatu perubahan berlangsung tergantung pada tempertur dan banyaknya perubahan tergantung pada lamanya waktu yang tersedia untuk diffusi.

BAB 3

PROSEDURE PERCOBAAN

Material dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan Aluminium 222, dengan komposisi kimia (%) sebagai berikut :

Copper (Cu) = 9,2 - 10,7 %

Silicon (Si) = 2,0 %

Iron (Fe) = 1,50 %

Manganese (Mn) = 0,50 %

Magnesium (Mg) = 0,15 - 0,35 %

Nickel (Ni) = 0,50 %

Zinc (Zn) = 0,80 %

Titanium (Ti) = 0,25 %

Dan sisanya Aluminium

Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai parameter adalah temperatur tuang pengecoran yaitu : 675°C, 700°C, 725°C, 750°C dengan waktu tuang \pm 5 detik.

3.1 Pembuatan Cetakan

3.1.1 Bahan Cetakan

Cetakan yang digunakan dalam pengecoran adalah pipa Cast Iron, dengan data sebagai berikut : Panjang = 50 cm

Tebal = 0,5 cm

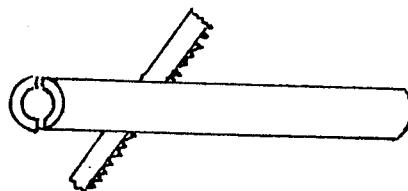
Diameter dalam (D0) = 2,8 cm

Diameter luar (D1) = 3,3 cm

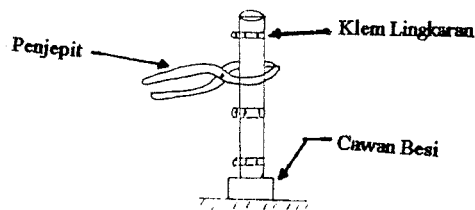
3.1.2 Proses pembuatan cetakan

Cara pembuatan cetakan adalah sebagai berikut :

1. Penyiapan bahan cetakan dari pipa Cast Iron, pemotongan pipa memakai gergaji tangan (Hand Saw) dengan arah horizontal dari pipa tersebut (lihat gambar 3.1.1).
2. Kemudian dilanjutkan dengan penggosokan dengan amplas sampai halus permukaan sisi dalamnya.
3. Pemolesan cairan batu asah (batu pegunungan) pada sisi dalam pipa.
4. Pemasangan kembali antara cup dan drag, diikatkan dengan menggunakan klem lingkaran.
5. Pemberian tanah liat pada batas pemisahannya.
6. Pemanasan cetakan dengan meletakkan cetakan pada sisi pingir dapur pembakaran dengan temperatur 400°C di ukur dengan termo electra.
7. Setelah itu diangkat dengan penjepit, dan salah satu ujungnya ditempatkan pada pelat besi pada posisi vertikal (lihat gambar 3.1.2).
8. Pemberian pasir halus pada sisi bawah pipa dan pipa masih dalam keadaan di jepit.



Gambar 3.1.1 : Pipa Yang dipotong Horizontal

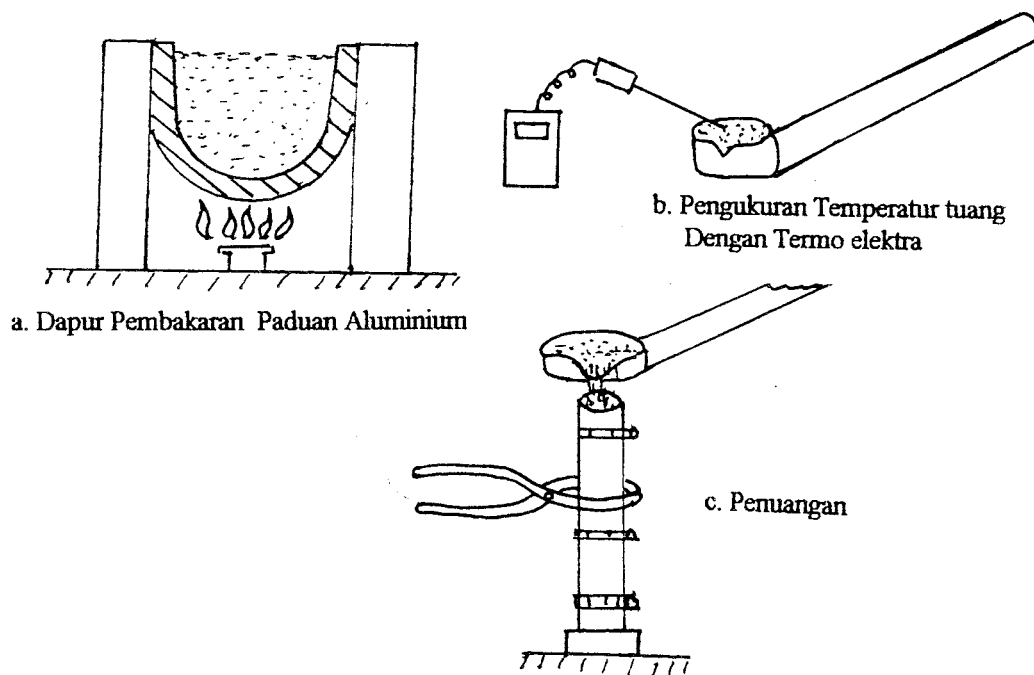


Gambar 3.1.2 : Posisi Cetakan

3.2 Proses Pengecoran

Pengecoran logam paduan Aluminium dilakukan sebagai berikut : (gambar 3.2)

1. Bahan paduan Aluminium 222 dimasukkan kedalam tungku, lalu proses pembakaran dimulai.
2. Setelah paduan Aluminium mencair, lalu diambil dengan ladle yang sesuai dan di ukur temperaturnya dengan menggunakan termo electra sampai mencapai temperatur yang di kehendaki (750°C , 725°C , 700°C dan 675°C).
3. Kemudian proses penuangan pada cetakan.
4. Pembongkaran cetakan dilakukan setelah keadaannya dingin.



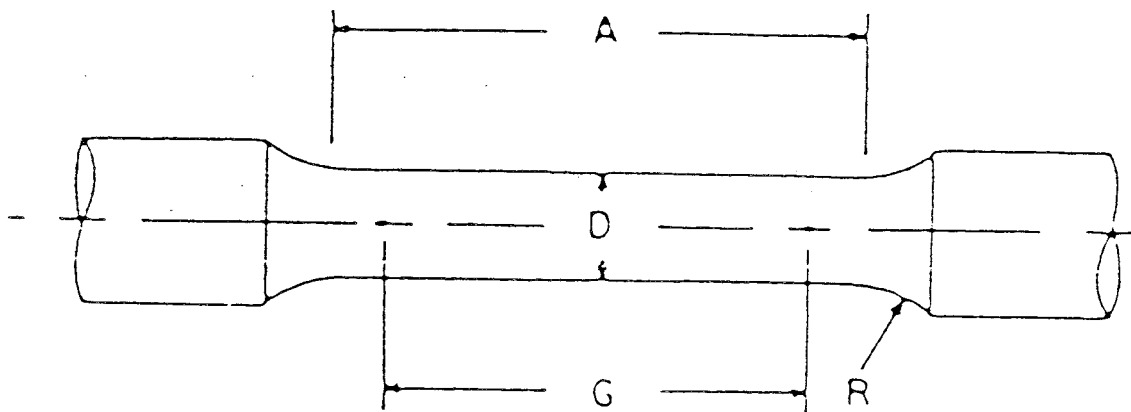
Gambar 3.2 : Proses Pengecoran Paduan Aluminium 222

3.3 Persiapan Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini di buat dari bahan hasil pengecoran paduan Aluminium 222 yang berupa poros.

3.3.1 Benda Uji Tarik

Bentuk benda uji tarik disesuaikan dengan standard ASTM B 557M, seperti gambar 3.3.1. Benda uji dibentuk dengan mesin bubut sesuai dengan standard ASTM B 557M, jumlah benda yang diuji tarik diambil sebanyak 12 buah. Pada bagian tengah dari benda uji, bagian yang paralel merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform dan pada bagian ini di ukur “panjang uji” (gauge length) yaitu bagian yang di anggap menerima pengaruh dari pembebanan, bagian ini selalu di ukur panjangnya selama proses pengujian.



Gambar 3.3.1 : Benda Uji Tarik

Di mana : G - "Gauge length" = $62,5 \pm 0,10$ mm

D - "Diameter" = $12,5 \pm 0,25$ mm

R - "Radius of fillet", min = 9 mm

A - "Length of reduce section", min = 100 mm

3.3.2 Benda Uji Kekerasan

Bentuk benda uji kekerasan disesuaikan dengan standard ASTM E 18 - 84. Benda uji di potong dengan ketebalan 10 mm sebanyak 4 buah. Setelah itu di perhalus dengan kertas gosok mulai grid 120, 180, 240, 320, 400 dan 600 grid. Setelah di capai permukaan yang halus dan rata, langkah berikutnya dilakukan pemolesan dengan menggunakan gamma alumina 0,05 mikron. Baru dilakukan pengetsaan dan foto metallografi setelah itu dilakukan pengujian kekerasan dengan metode Rockwell.

3.4 Pelaksanaan Pengujian

- Pengujian dilakukan untuk mengetahui / mengukur kemampuan paduan Aluminium 222.
- Adapun uji yang diterapkan adalah pengujian tarik, pengamatan metallografi dan pengujian kekerasan.

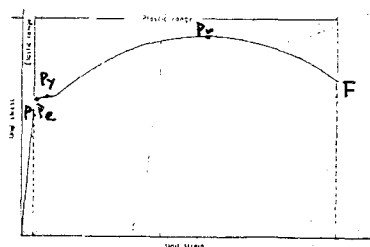
3.4.1 Pengujian Tarik

Tujuan dilaksanakannya pengujian tarik adalah untuk mengetahui sifat mekanis dari paduan Aluminium 222. Pada pengujian ini yang mendapat perhatian adalah tingkat kekuatan tarik (σ_u) dan tegangan yield (σ_y) serta keuletan bahan dengan memperhatikan persentase perpanjangan dan persentase pengurangan luas penampang.

Pengujian tarik dilaksanakan dengan penambahan beban secara perlahan, mula - mula akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan penambahan gaya. Kesebandingan ini berlangsung terus sampai beban mencapai titik P (Proportionality limit).

Setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan pertambahan panjang yang lebih besar. Namun pada suatu saat dapat terjadi pertambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji (spesimen) bertambah panjang dengan sendirinya. Dikatakan batang uji mengalami yield (luluh). Keadaan ini berlangsung hanya beberapa saat dan sesudah itu beban akan naik lagi untuk dapat memperoleh pertambahan panjang.

Kenaikan beban ini akan berlangsung terus sampai saat beban mencapai maksimum dan untuk logam yang ulet (seperti baja karbon rendah) sesudah itu beban mesin tarik akan menurun lagi tetapi pertambahan panjang terus berlangsung sampai akhirnya batang uji putus. Pada saat beban mencapai maksimum pada batang uji terjadi pengecilan penampang setempat (local necking) dan pertambahan panjang akan terjadi hanya di sekitar necking tersebut. Peristiwa seperti ini hanya terjadi pada logam yang ulet, sedang pada logam - logam yang lebih getas tidak terjadi necking dan logam itu akan putus pada saat beban maksimum. Sebagai contoh grafik pengujian tarik dapat dilukiskan sebagai berikut :



Gambar 3.4.1 : Grafik Pengujian Tarik

Di mana : P_e = Titik batas beban elastis

P_y = Titik batas beban luluh

P_u = Titik batas beban maksimum

P = Titik batas proportionality

F = Titik patah

Tegangan yang bekerja pada spesimen :

$$\sigma_y = P_y / A_o \quad (\text{Kg/mm}^2)$$

$$\sigma_u = P_u / A_o \quad (\text{Kg/mm}^2)$$

Regangan yang bekerja pada spesimen :

$$\epsilon = (L - L_o) / L_o \times 100 \% \quad (\%)$$

$$\delta = (A_o - A) / A_o \times 100 \% \quad (\%)$$

Di mana :

σ_y : Yield strength

σ_u : Tensile strength

ϵ : Persentase perpanjangan

δ : Persentase pengurangan luas penampang

Langkah Pengujian :

1. Mencatat data pada mesin.
2. Mengukur dimensi spesimen uji.
3. Memasang spesimen uji pada penjepit.
4. Mengatur skala pembebanan.
5. Memasang kertas grafik dan pena pada mesin.

6. Pemberian pembebanan dengan kecepatan yang sesuai sampai spesimen uji patah, kemudian mencatat gaya maksimumnya (P_u).

Selama penarikan, perubahan yang terjadi pada grafik maupun spesimen perlu diperhatikan.

7. Setelah patah, spesimen uji dilepaskan dari penjepitnya.
8. Menggabungkan kedua bagian spesimen uji untuk di ukur panjang akhir spesimen.

3.4.2 Pengamatan Metallografi

Pengamatan metallografi dilakukan agar diperoleh gambaran struktur mikro dari tiap - tiap proses pengecoran sehingga dapat di analisa perubahan - perubahan yang terjadi pada tiap proses pengecoran tersebut. Dari pengamatan metallografi ini di peroleh data - data yang akan memperkuat kesimpulan berdasarkan analisa struktur mikro.

Tujuan pengamatan metallografi :

1. Membedakan struktur mikro logam.
2. Mengetahui ada atau tidaknya presipitasi.
3. Mengamati besarnya ukuran presipitasi.

Prosedur pengamatan metallografi meliputi :

1. Persiapan spesimen uji

Pemotongan spesimen uji menggunakan gergaji, menurut ketentuan ukuran spesimen uji mempunyai ketebalan 10 mm. Cara penggosokan spesimen uji dilaksanakan sedemikian rupa sehingga permukaan rata dan halus, hal ini untuk mempermudah memperoleh hasil yang diinginkan.

2. Polishing

Penggosokan dilakukan secara bertahap sebagai berikut :

a. Tahap pertama yaitu menghilangkan goresan - goresan yang terlalu dalam hingga merata dan halus, bekas gosokan harus sejajar. Pada tahap ini penggosokan dilakukan dengan grid 240 dengan dialiri air, cara penggosokannya dilakukan dengan memutar spesimen uji. Selanjutnya penggosokan dilakukan dengan grid 320 dengan cara maju - mundur dan air membasahi permukaannya. Setelah itu dilakukan penggosokan dengan grid 400 cara penggosokannya tegak lurus dan maju mundur dengan bekas gosokan sebelumnya. Setelah rata permukaannya di cuci dengan air, dilanjutkan dengan penggosokan menggunakan grid 600 yang relatif halus, cara penggosokannya searah dan tegak lurus dengan gosokkan sebelumnya, bekas gosokan harus sejajar.

b. Tahap kedua yaitu polishing, setelah penggosokan dengan grid 600 selesai spesimen di cuci dengan aqua dan alkohol, kemudian dikeringkan dengan dryer soft tissue. Penggosokan dilakukan dengan menekan spesimen uji pada piringan polisher yang dilapisi kain penggosok yang telah ditaburi gamma alumina dengan kehalusan 0,05 mikron. Proses polishing selesai jika goresan sudah tidak ada lagi dan permukaan spesimen uji, rata serta mengkilat. Kemudian spesimen uji dibersihkan dari sisa polishing powder dengan air dan alkohol setelah itu dikeringkan dengan dryer soft tissue.

3. Etching

Proses mengetsa adalah proses mencelupkan spesimen uji ke dalam larutan kimia (etching reagent) untuk melihat struktur kristal secara mikro struktur dengan waktu

pencelupan yang relatif singkat, dengan tujuan untuk memperjelas struktur mikro pada mikroskop.

Pada percobaan ini spesifikasi etsa untuk paduan Aluminium digunakan larutan 0,5 ml HIF dan 99,5 ml water. Waktu etsa yang dibutuhkan hanya beberapa detik sampai satu menit.

4. Pengambilan foto struktur mikro

Spesimen uji yang telah di etsa selanjutnya diamati di bawah mikroskop optik dengan perbesaran 200 X kemudian dilakukan pengambilan foto metallografi.

3.4.3 Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui sejauh mana tingkat kekerasan paduan Aluminium 222 akibat penggecoran dengan memvariasikan temperatur tuang, perlu dilakukan pengujian kekerasan pada spesimen uji.

Dalam pengujian kekerasan ini menggunakan pengujian kekerasan Rockwell dengan standard ASTM E 18 - 84. Pengujian Rockwell hampir sama dengan pengujian kekerasan Brinell yaitu angka kekerasan sebagai fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat pembebanan statis.

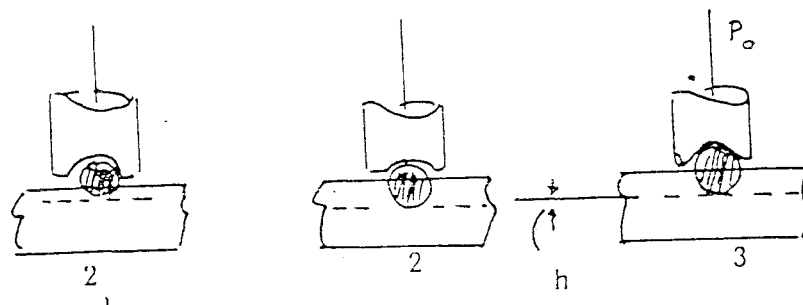
Perbedaannya dengan pengujian kekerasan Brinell yaitu pada pengujian kekerasan Rockwell digunakan beban dan indentor dengan beban awal 10 Kg, yang menyebabkan kedalaman indentasi h , jarum penunjuk di set pada angka nol skala hitam, setelah itu beban awal masih tetap. Cara kerja ini secara skematik ditunjukkan pada gambar 3.4.3.1, sedangkan sebagai beban serta indentor yang digunakan ditunjukkan pada tabel 3.4.3, indentor ball. Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi didahului huruf depan

seperti tabel 3.4.3 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala yaitu merah dan hitam berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, di mana tiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm.

P_0 : Beban awal

10kg.

$P_0 + P_1$: Beban Mayor



Gambar 3.4.3.1 : Cara kerja mesin penguji kekerasan Rockwell

Tabel 3.4.3, Skala kekerasan Rockwell dan Huruf depan

Skala dan huruf depan	Indentor	Beban Mayor	Skala yang dibaca.
	<u>Group I</u>		
B	Bola 1/16"	100	merah
C	Kerucut Intan	150	hitam
	<u>Group II</u>		
A	Kerucut Intan	60	hitam
D	Kerucut Intan	60	hitam
E	bola 1/8"	100	merah
F	Bola 1/16 "	60	merah
G	Bola 1/16 "	150	merah
H	Bola 1/8 "	60	merah
K	Bola 1/6 "	150	merah
	<u>Group III</u>		
L	Bola 1/4"	60	merah
M	Bola 1/4 "	100	merah
P	Bola 1/4 "	150	merah
R	Bola 1/2	100	merah

Pengujian kekerasan Rockwell menyebabkan indentasi cukup kecil, maka persiapan yang harus diperhatikan adalah :

- Permukaan spesimen harus datar, halus serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing maupun cacat.
- Begitu pula permukaan bawah spesimen harus datar dan bebas dari debu serta benda asing lainnya.
- Ketebalan spesimen minimum 0,01 inc.
- Dashpot harus di atur pada pembebanan 100 Kg.
- Handle berhenti bergerak dalam waktu 4 - 5 detik.

Rockwell skala B banyak digunakan untuk logam yang lunak seperti Kuningan, Bronze, Aluminium dan logam yang kekerasannya sedang (Baja Karbon Rendah). Rockwell skala C banyak digunakan untuk material yang kekerasannya di atas 100 pada skala B. Daerah kerja skala C di atas 20. Baja yang terkeras $R_c = 70$.

Keuntungan menggunakan pengujian kekerasan Rockwell :

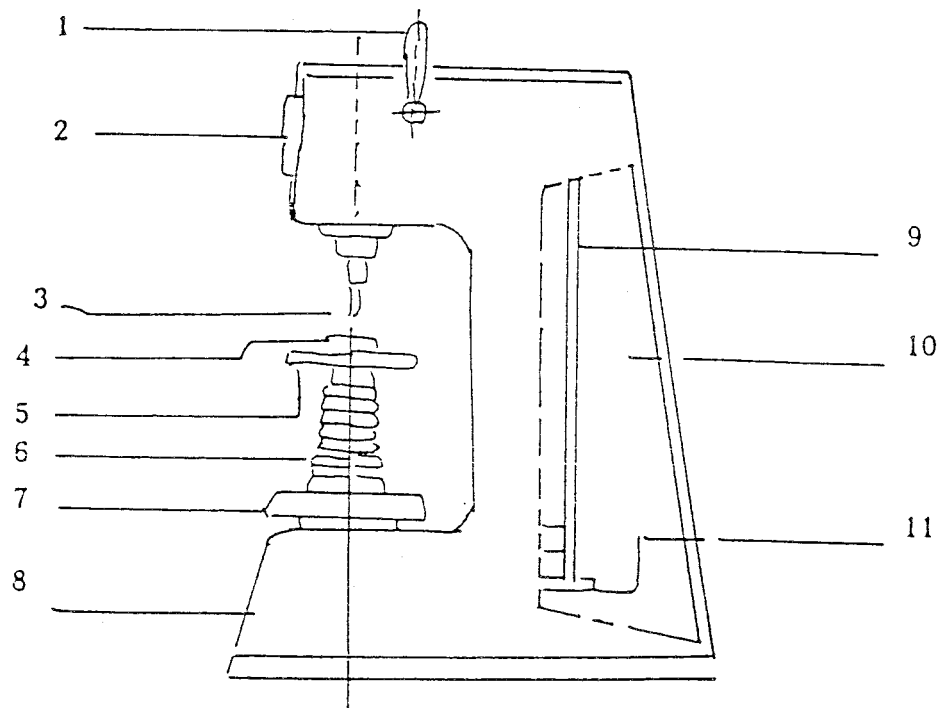
1. Dengan bekas tekan yang kecil, benda kerja rusak lebih kecil.
2. Penentuan kekerasan berlangsung cepat karena satu pelaksanaan dalam penekanan benda dan pengukuran pembesaran dalamnya bekas tekan.
3. Mengetahui kekerasan dengan cepat dan akurat.
4. Dengan kerucut intan, dapat di ukur kekerasan baja yang di sepuh keras.

Kerugian menggunakan kekerasan Rockwell :

1. Bekas tekanan kecil maka kekerasan rata - rata tidak dapat ditentukan untuk bahan yang tidak homogen seperti : Besi Tuang.
2. Dengan bekas tekanan yang kecil kemungkinan mendapat kesalahan pengukuran yang besar.

Pelaksanaan pengujian kekerasan Rockwell :

1. Spesimen dibersihkan permukaannya.
2. Indentor di ukur dengan mikrometer.
3. Memasang indentornya pada pemegang indentor.
4. Menempatkan pemegang indentor pada mesin.
5. Menempatkan beban yang sesuai pada mesin.
6. Meletakkan beban yang sesuai pada mesin.
7. Menaikkan table mesin dengan memutar hand whel sehingga indentor mengadakan penetrasi pada spesimen, jarum penunjuk kecil (pada skala kecil) menunjukkan angka 3. Pada saat ini beban mula - mula adalah 10 Kg kemudian skala besar di baca (pembacaan pada beban awal).
8. Memutar handle sehingga terjadi penetrasi (pembebanan penuh).
9. Setelah handle tidak bergerak lagi, skala di baca (pembacaan pada beban penuh).
10. Handle dikembalikan ke posisi semula kemudian skala di baca.



Gambar 3.4.3.2 : Mesin Penguji Kekerasan

Keterangan gambar :

- | | |
|---|--------------------|
| 1. Handle | 6. Elevating Screw |
| 2. Skala untuk membaca
turunnya indenter | 7. Hand Wheel |
| 3. Indenter | 8. Base |
| 4. Spesimen | 9. Penyangga Beban |
| 5. Table | 10. Column |
| | 11. Beban |

BAB 4

HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4.1.1 : Hasil Pengujian Tarik

No	Temperatur (°C)	Diameter Awal (mm)	Diameter patah (mm)	Luas Awal (mm ²)	Luas Patah (mm ²)	Panjang awal (mm)	Panjang Patah (mm)
1	675	12,5	12,25	122,718	117,859	62,5	64,975
			12,23		117,474		65,170
			12,22		117,282		65,268
2	700		12,27		118,244		64,779
			12,29		118,630		64,582
			12,28		118,436		64,680
3	725		12,39		120,568		63,595
			12,34		119,597		64,089
			12,37		120,179		63,793
4	750		12,42		121,530		63,296
			12,40		120,763		63,495
			12,43		121,347		63,198

NO	TEMPERATUR (°C)	BEBAN MAKS. (Kg)	BEBAN YIELD (Kg)	TEGANGAN MAKS. (Kg/mm ²)	TEGANGAN YIELD (Kg/mm ²)	REGANGAN (%)
1	675	5040	4950	41,069	40,336	3,959
		5020	4920	40,906	40,091	4,273
		5050	4960	41,151	40,418	4,429
2	700	6420	6220	52,315	50,685	3,645
		6450	6250	52,559	50,929	3,331
		6430	6240	52,396	50,848	3,489
3	725	6870	6670	55,982	54,352	1,752
		6920	6770	56,389	55,167	2,543
		6950	6790	56,634	55,330	2,068
4	750	7050	6950	57,448	56,634	1,275
		7090	6890	57,774	56,145	1,593
		7070	6900	57,611	56,226	1,117

Hasil Pengujian Tarik Rata - Rata

NO	TEMPERATUR (°C)	BEBAN MAKS. (Kg)	BEBAN YIELD (Kg)	TEGANGAN MAKS. (Kg/mm ²)	TEGANGAN YIELD (Kg/mm ²)	REG. (%)
1	675	5036,667	4943,333	41,043	40,282	4,220
2	700	6433,333	6236,667	52,424	50,821	3,488
3	725	6913,333	6743,333	56,335	54,949	2,121
4	750	7070	6913,333	57,612	56,335	1,328

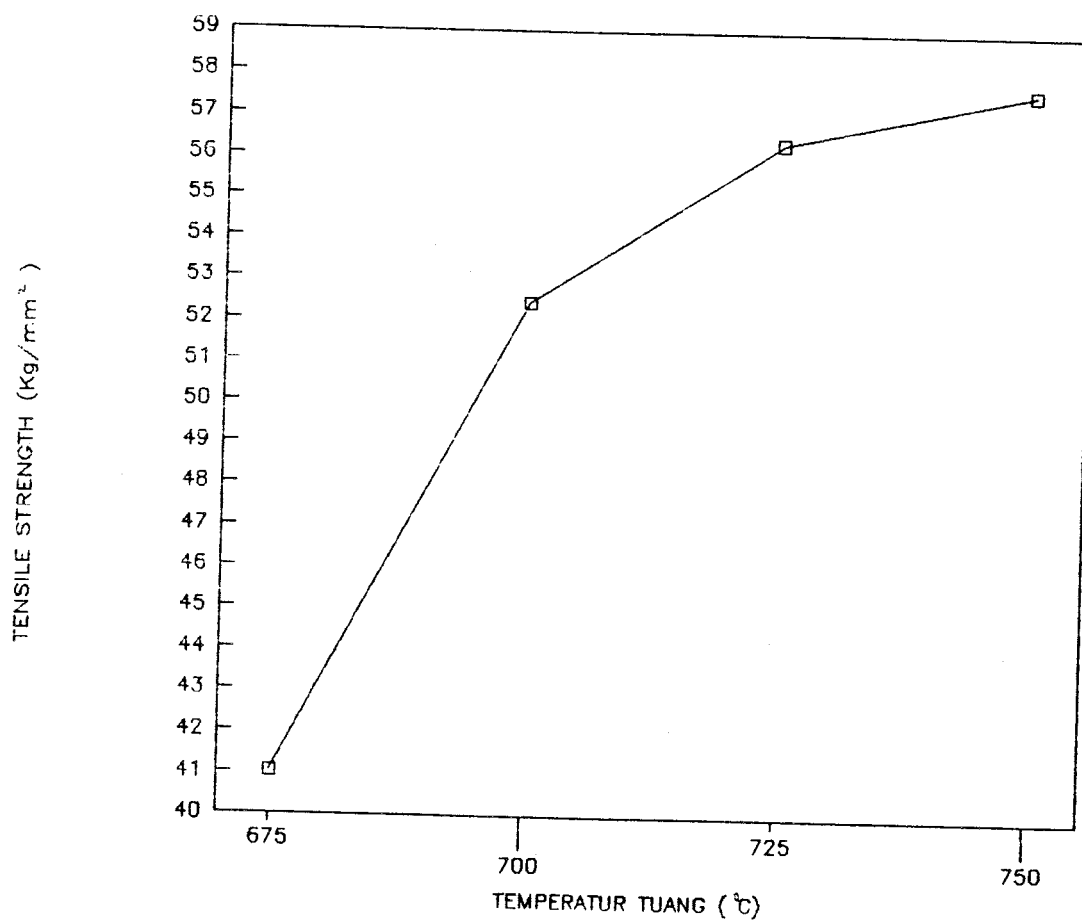
4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Tabel 4.1.2 : Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

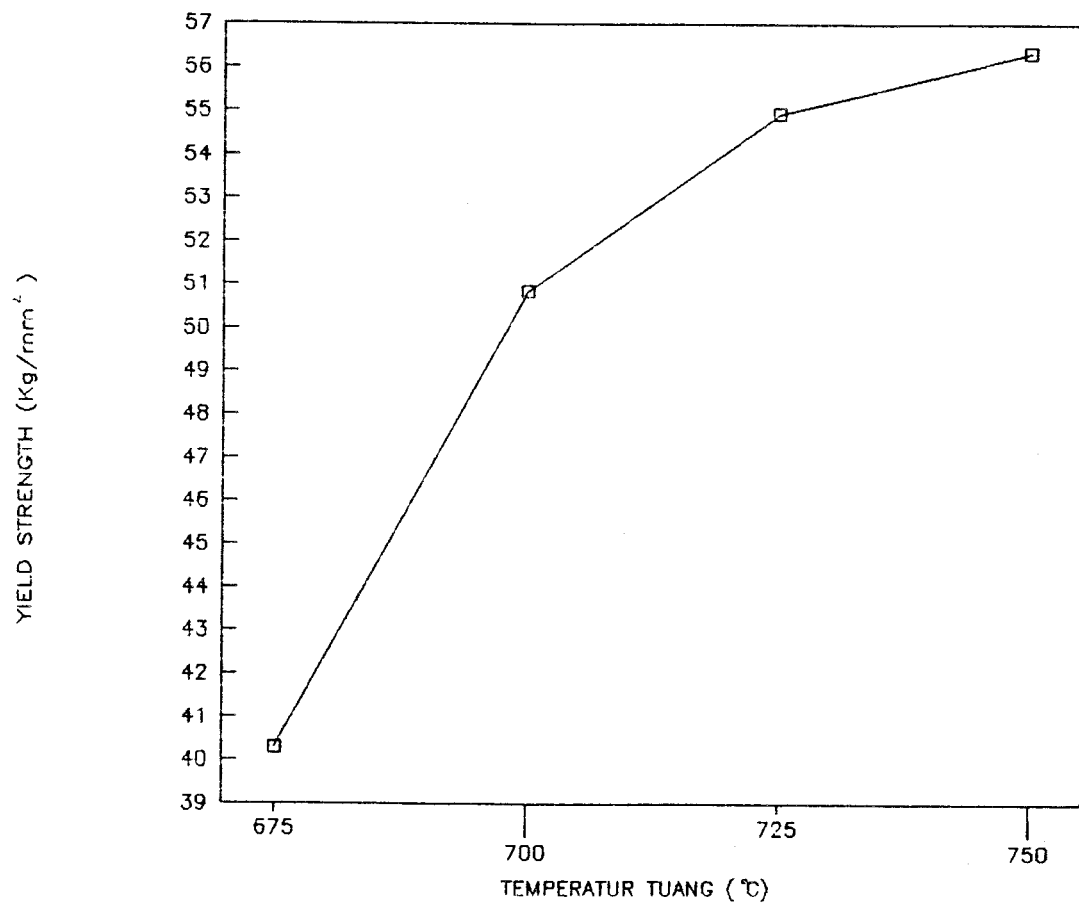
NO	MATERIAL (°C)	KEKERASAN ROCKWELL (Rb)	KEKERASAN RATA - RATA
1	675	75,4	75,97
		76,5	
		76	
2	700	80	80,47
		80,4	
		81	
3	725	87,5	87,97
		88	
		88,4	
4	750	93,4	94,63
		95	
		95,5	

4.1.3 Grafik Dari Data Pengujian

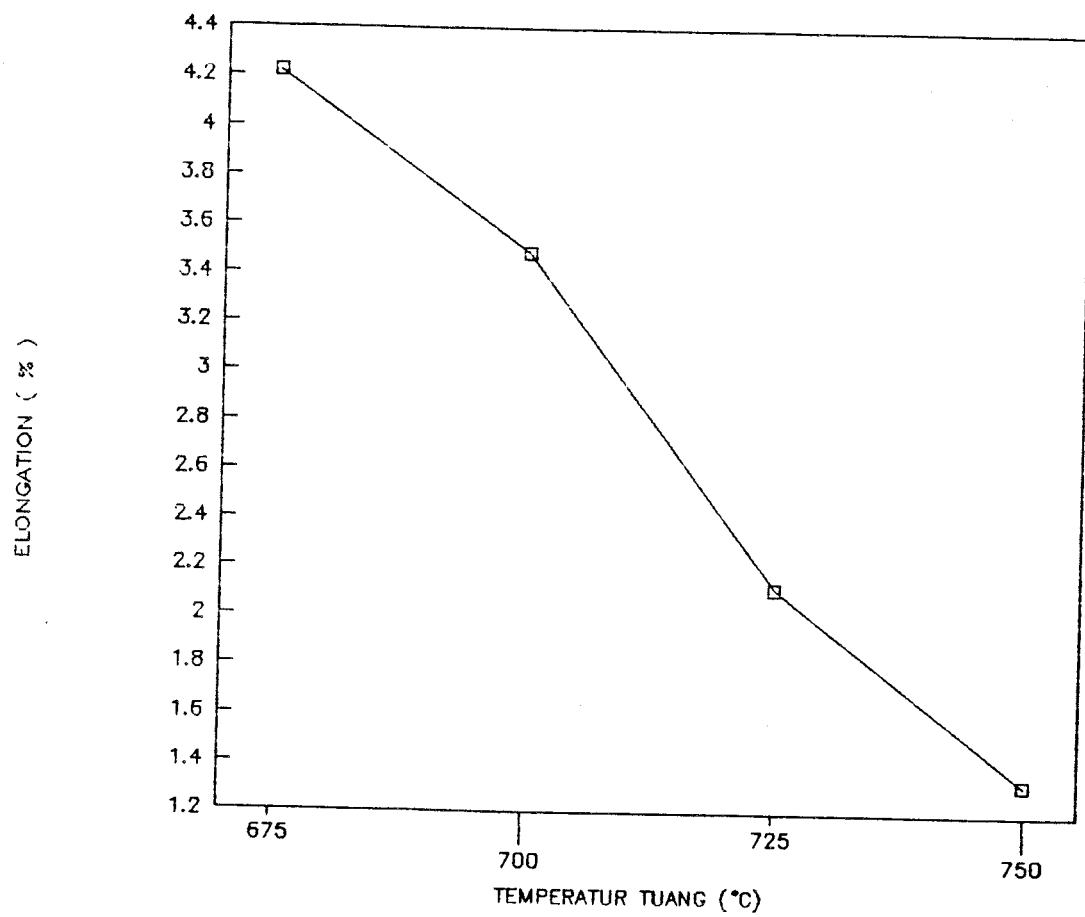
Dari data - data hasil percobaan tarik dan percobaan kekerasan dapat di buat beberapa grafik :



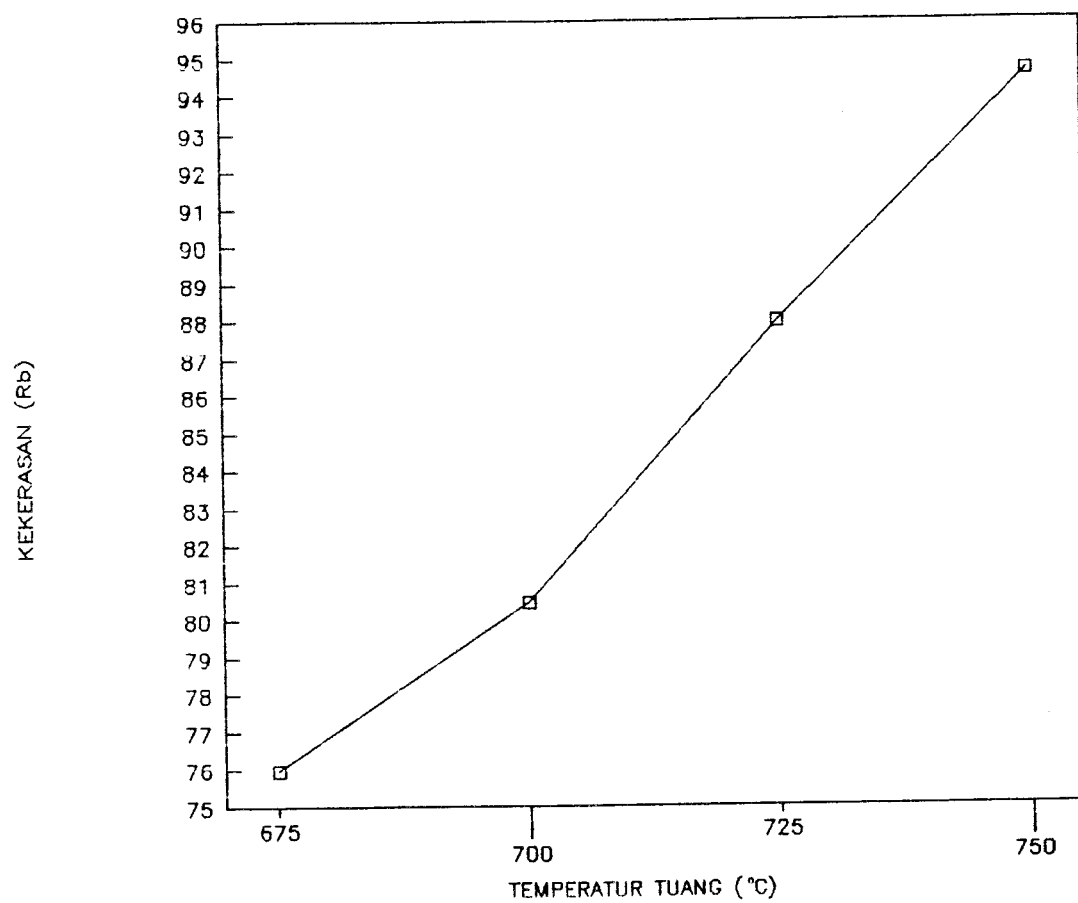
Gambar 4.1.1 : Grafik Hubungan Antara Temperatur Tuang Dengan Tensile Strength



Gambar 4.1.2 : Grafik Hhubungan Antara Temperatur Tuang Dengan Yield Strength



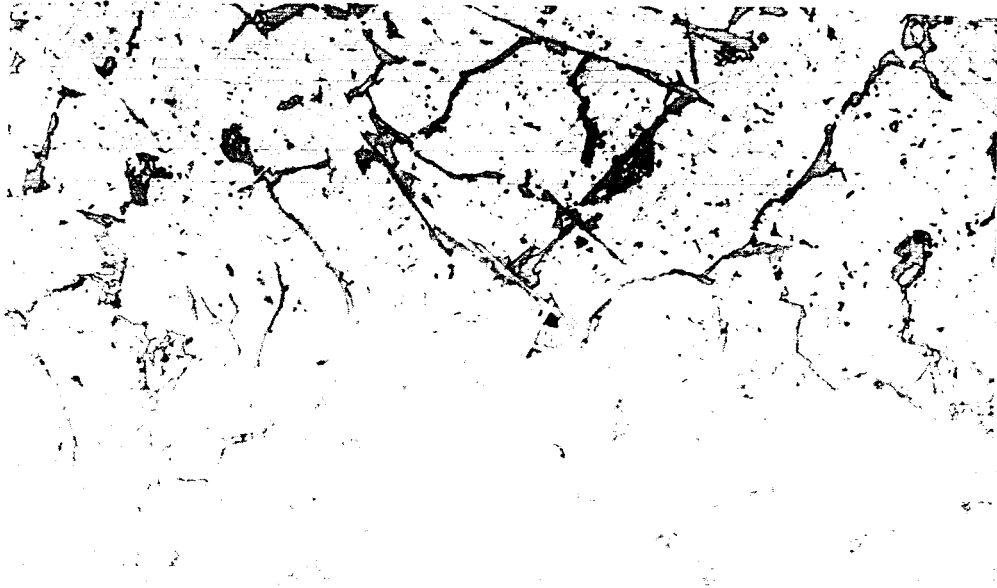
Gambar 4.1.3 : Grafik Hubungan Antara Temperatur Tuang Dengan Persentase Perpanjangan (Elongation)



Gambar 4.1.4 : Grafik Hubungan Antara Temperatur Tuang Dengan Kekerasan Rockwell

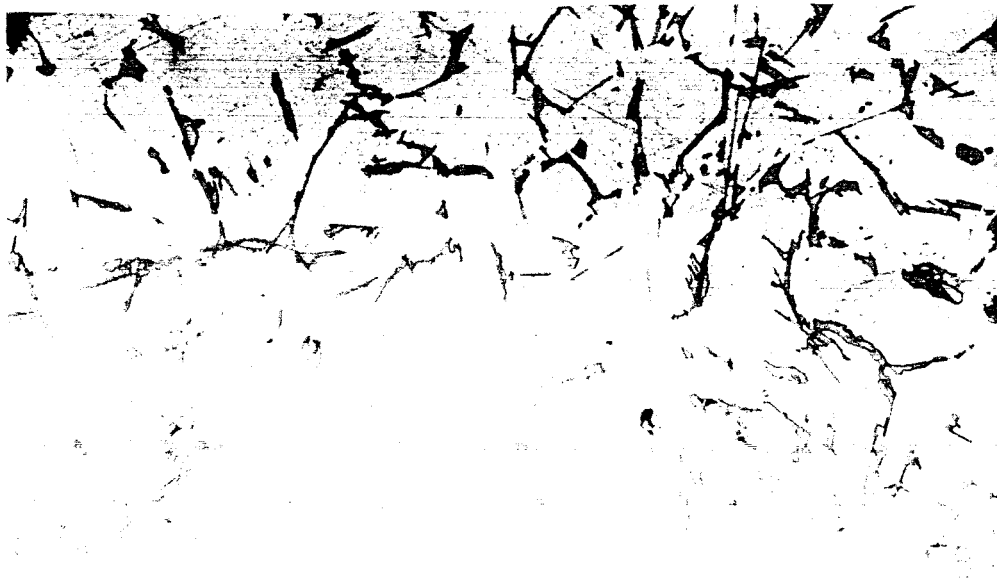
4.1.4 Hasil Pengamatan Metallografi

A. Hasil Metallografi Pada Bagian Tegah Penampang Spesimen Paduan Aluminium 222,



Gambar 4.1.3.1 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 675°C

Perbesaran 200X



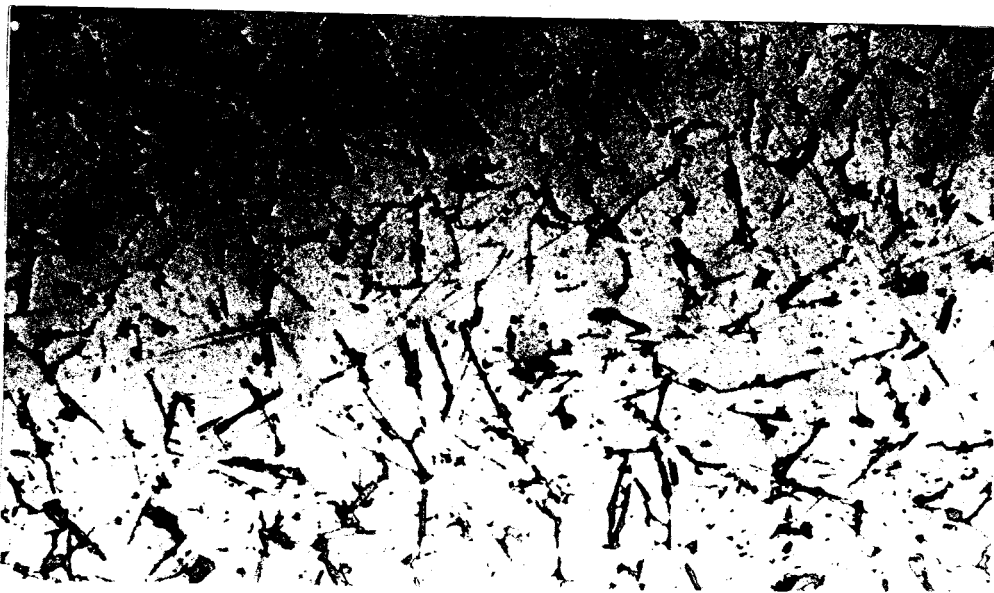
Gambar 4.1.3.2 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 700°C

Perbesaran 200X



Gambar 4.1.3.3 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 725°C

Perbesaran 200X



Gambar 4.1.3.4 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 750°C

Perbesaran 200X

- Keterangan :
- A. Warna putih (α) = Al
 - B. Warna abu - abu (θ) = CuAl_2
 - C. Warna hitam = Si

B. Foto Metallografi Pada Bagian Luar Penampang Spesimen Paduan Aluminium 222,



Gambar 4.1.3.5 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 675°C

Perbesaran 200X



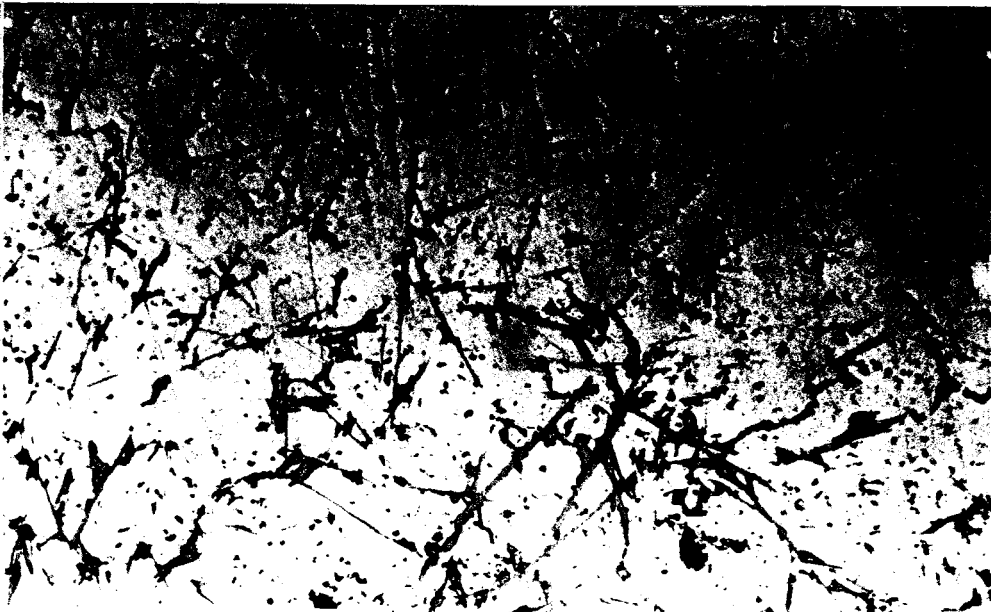
Gambar 4.1.3.6 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 700°C

Perbesaran 200X



Gambar 4.1.3.7 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 725°C

Perbesaran 200X



Gambar 4.1.3.8 : Foto Metallografi Paduan Aluminium 222 Pada Temperatur Tuang 750°C

Perbesaran 200X

Keterangan : A. Warna putih (α) = Al

B. Warna abu - abu (θ) = CuAl_2

C. Warna hitam = Si

4.2 Analisa Hasil Pengujian Tarik Dan Regangan

4.2.1 Analisa Terhadap Kekuatan Tarik

Dari grafik - grafik yang di peroleh hasil pengujian tarik terlihat bahwa kenaikan temperatur tuang akan menyebabkan kenaikan kekuatan tarik. Peristiwa kenaikan kekuatan tarik tersebut dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengamatan mikroskop optik menunjukkan bahwa temperatur tuang yang tinggi akan menyebabkan bentuk strukturnya halus dan homogen. Hal ini dapat diasumsikan bahwa bentuk yang halus mempunyai arti semakin banyak rintangan - rintangan yang berfungsi sebagai penghalang apabila dilalui gerakan dislokasi. Dengan demikian kekuatan tarik menjadi tinggi.
2. Dengan kenaikan temperatur tuang, struktur mikro, paduan Aluminium 222 terlihat pembentukan presipitat CuAl_2 meningkat sehingga semakin banyak rintangan - rintangan yang berfungsi sebagai penghalang apabila dilalui oleh gerakan dislokasi, dengan demikian kekuatan tarik menjadi meningkat.

4.2.2 Analisa Terhadap Regangan

Dari data yang ada terlihat bahwa regangan pada temperatur tuang 675°C lebih besar dibandingkan dengan temperatur tuang yang lain (700°C , 725°C dan 750°C). Dari grafik regangan terlihat makin tinggi temperatur tuang maka semakin rendah regangannya sehingga semakin bersifat getas.

Proses regangan ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pada proses pelarutan paduan, atom - atom terlarut di dalam atom - atom pelarut dalam hal ini matrik Aluminium. Karena pendinginan dilakukan didalam cetakan maka akan terbentuk

kekosongan sebagian kisi - kisi matrik dan larutan padat tersebut berada pada kondisi metastabil. Dalam kondisi yang metastabil ini, difusi atom pada suhu rendah juga terjadi, tetapi relatif rendah sehingga partikel - partikel presipitat (CuAl_2) yang terbentuk juga relatif sedikit. Dengan demikian apabila terjadi tarikan yaitu beban dari luar, maka gerakan karena dislokasi dapat mudah terjadi, sehingga regangan yang terjadi pada temperatur tuang 675°C yang relatif besar.

4.3 Analisa Hasil Pengamatan Metallografi

Dari hasil pengamatan metallografi didapatkan bahwa struktur mikro dari temperatur tuang 675°C , 700°C , 725°C dan 750°C menunjukkan adanya peningkatan presipitat CuAl_2 yang terjadi pada paduan Aluminium 222. Hal ini disebabkan perlakuan yang berbeda pada saat pengecoran dengan temperatur tuang yang berbeda, sehingga dengan meningkatnya temperatur tuang, presipitat CuAl_2 makin banyak terbentuk.

Pada temperatur tuang yang sama, dari pengamatan metallografi yang diperoleh pada penampang sisi dalam dan sisi luar tidak tampak adanya perbedaan struktur mikro sehingga memiliki sifat yang sama.

4.4 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan

Dari data hasil pengujian kekerasan pada paduan Aluminium 222 memperlihatkan adanya peningkatan kekerasan dari kenaikan temperatur tuang (675°C , 700°C , 725°C dan 700°C). Peristiwa kenaikan kekerasan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

-
- Dari hasil pengamatan mikroskop optik menunjukkan bahwa temperatur tuang yang rendah mempunyai presipitat CuAl_2 yang sedikit, sehingga semakin sedikit penghalang apabila dilalui oleh gerakan dislokasi. Dengan demikian kekerasannya menjadi rendah.
 - Dengan kenaikan temperatur tuang, terlihat pembentukan presipitat CuAl_2 meningkat, akibatnya semakin banyak penghalang apabila dilalui oleh gerakan dislokasi, dengan demikian kekerasan meningkat.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari data yang didapatkan dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- A. - Kekuatan tarik pada paduan Aluminium 222 tergantung kepada temperatur tuang saat pengecoran . Semakin naik temperatur tuang, kekuatan tarik semakin tinggi.
 - Pada temperatur tuang 750°C mempunyai kekuatan tarik yang tertinggi dan pada temperatur tuang 675°C memiliki kekuatan tarik terendah dibandingkan dengan temperatur tuang yang lain (750°C , 725°C dan 700°C).
- B. - Regangan merupakan fungsi temperatur tuang, di mana makin naik temperatur tuang makin turun regangan yang terjadi pada paduan Aluminium 222, berarti paduan semakin bersifat getas.
 - Regangan pada temperatur tuang 675°C mempunyai nilai paling tinggi dibandingkan dengan temperatur tuang yang lain.
- C. - Kekerasan yang terjadi pada temperatur tuang 750°C mempunyai kekerasan yang tertinggi dibandingkan temperatur tuang yang lain.
 - Dan kekerasan yang terendah terjadi pada temperatur tuang 675°C .

DAFTAR PUSTAKA

1. Ir. Tata Surdia M.S. Met.E, Teknik Pengecoran logam, Institut Teknologi Bandung, Bandung , 1975.
2. Ir. Wahid Suherman, Pengetahuan Bahan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1987.
3. ASTM B 557M - 84, Standard Methods Of Tension Testing Wrought And Cast Aluminium And Magnesium Alloy Products, Philadelphia, 1986.
4. ASTM E 3 - 80, Standard Methods Of Preparation Of Metallographic Specimens, Philadelphia, 1986.
5. ASTM E 18 - 84, Standard Test Methods For Rockwell Hardness And Rockwell Superficial Hardness Of Metallic Materials, Philadelphia, 1986.
6. Lawrence H. Van Vlack, Ilmu Dan Teknologi Bahan, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
7. B.J.M. Beumer, Ilmu Bahan Logam, Bharata Karya Aksara, Jakarta, 1979.

LAMPIRAN

Daftar. 11.4 Titik cair dan temperatur penuangan dari paduan aluminium dan paduan magnesium.

Paduan dan komposisi	Temperatur mulai cair (°C)	Temperatur berakhir cair (°C)	Temperatur penuangan (°C)
Al-4,5Cu	521	644	700-780
Tl-4Cu-3Si	521	627	700-780
Al-4,5Cu-5Si	521	613	700-780
Al-12Si	574	582	670-750
Al-9,5Si-0,5Mg	557	596	670-740
Al-3,5Cu-8,5Si	538	593	670-740
Al-7Si-0,3Mg	557	613	670-740
Al-4Cu-1,5Mg-2Ni	532	635	700-760
Al-3,8Mg	599	641	700-760
Al-10Mg	499	604	700-760
Al-12Si-0,8Cu-1,7Mg-2,5Ni	538	566	670-740
Al-9-Si-3,5Cu-0,8Mg-0,5Ni	520	582	670-740
Mg-6Al-3Zn	455	610	670-830
Mg-8,7Al-0,7Zn	468	596	640-700
Mg-9Al-2Zn	443	593	670-830
Mg-1,8Mn	650	650	730-830
Mg-4,5Zn-0,7Zr	585	625	700-840
Mg-5,7Zn-0,75Zr-1,8Th	577	615	730-840
Mg-0,75Zr-3,3Th	589	651	700-815
Mg-2,8Zn-0,75Zr-3,3Re	540	640	710-840

Lampiran C. SIFAT BEBERAPA BAHAN TEKNIK TERTENTU (20°C)*

Bahan	Berat jenis Mg/m ³ (= g/cm ³)	Daya hantar panas $\left(\frac{\text{watt}}{\text{mm}^2}\right) / \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{mm}}\right)^{**}$	Muai linier, °C ⁻¹ †	Tahanan listrik, ρ ohm m ²	Modulus elastisitas rata2	
					\bar{E} MPa	psi
Logam						
Aluminium (99,9+)	2.7	0.22	22.5 × 10 ⁻⁶	29 × 10 ⁻⁹	70,000	10 × 10 ⁶
Paduan aluminium	2.7(+)	0.16	22 × 10 ⁻⁶	~45 × 10 ⁻⁹	70,000	10 × 10 ⁶
Kuningan (70 Cu-30 Zn)	8.5	0.12	20 × 10 ⁻⁶	62 × 10 ⁻⁹	110,000	16 × 10 ⁶
Perunggu (95 Cu-5 Sn)	8.8	0.08	18 × 10 ⁻⁶	~100 × 10 ⁻⁹	110,000	16 × 10 ⁶
Besi Car (kelabu)	7.15	—	10 × 10 ⁻⁶	—	140,000(±)	20 × 10 ⁶ ±
Besi Car (putih)	7.7	—	9 × 10 ⁻⁶	660 × 10 ⁻⁹	205,000	30 × 10 ⁶
Tembaga (99,9+)	8.9	0.40	17 × 10 ⁻⁶	17 × 10 ⁻⁹	110,000	16 × 10 ⁶
Besi (99,9+)	7.88	0.072	11.7 × 10 ⁻⁶	98 × 10 ⁻⁹	205,000	30 × 10 ⁶
Timbel (99+)	11.34	0.033	29 × 10 ⁻⁶	206 × 10 ⁻⁹	14,000	2 × 10 ⁶
Magnesium (99+)	1.74	0.16	25 × 10 ⁻⁶	45 × 10 ⁻⁹	45,000	6.5 × 10 ⁶
Monel (70 Ni-30 Cu)	8.8	0.025	15 × 10 ⁻⁶	482 × 10 ⁻⁹	180,000	26 × 10 ⁶
Perak (Sterling)	10.4	0.41	18 × 10 ⁻⁶	18 × 10 ⁻⁹	75,000	11 × 10 ⁶
Baja (1020)	7.86	0.050	11.7 × 10 ⁻⁶	169 × 10 ⁻⁹	205,000	30 × 10 ⁶
Baja (1040)	7.85	0.048	11.3 × 10 ⁻⁶	171 × 10 ⁻⁹	205,000	30 × 10 ⁶
Baja (1080)	7.84	0.046	10.8 × 10 ⁻⁶	180 × 10 ⁻⁹	205,000	30 × 10 ⁶
Baja (18 Cr - 8 Ni tahan karat)	7.93	0.015	16 × 10 ⁻⁶	700 × 10 ⁻⁹	205,000	30 × 10 ⁶
Keramik.						
Al ₂ O ₃	3.8	0.029	9 × 10 ⁻⁶	>10 ¹²	350,000	50 × 10 ⁶
Bata						
Bangunan	2.3(±)	0.0006	9 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Tahan api	2.1	0.0008	4.5 × 10 ⁻⁶	1.4 × 10 ⁶	—	—
Grafit	1.5	—	5 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Kaki Lima	2.5	—	4 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Silika	1.75	0.0008	—	1.2 × 10 ⁶	—	—
Beton	2.4(±)	0.0010	13 × 10 ⁻⁶	—	14,000	2 × 10 ⁶
Gelas						
Lembaran	2.5	0.00075	9 × 10 ⁻⁶	10 ¹²	70,000	10 × 10 ⁶
Borosilikat	2.4	0.0010	2.7 × 10 ⁻⁶	>10 ¹⁵	70,000	10 × 10 ⁶
Silika	2.2	0.0012	0.5 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁸	70,000	10 × 10 ⁶
Vycor	2.2	0.0012	0.6 × 10 ⁻⁶	—	—	—
Serat	0.05	0.00025	—	—	—	—
Grafit (curah)	1.9	—	5 × 10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	7,000	1 × 10 ⁶
MgO	3.6	—	9 × 10 ⁻⁶	10 ³ (1100°C)	205,000	30 × 10 ⁶
Kwarsa (SiO ₂)	2.65	0.012	—	10 ¹²	310,000	45 × 10 ⁶
SiC	3.17	0.012	4.5 × 10 ⁻⁶	0.025 (1100°C)	—	—
TiC	4.5	0.030	7 × 10 ⁻⁶	50 × 10 ⁻⁸	350,000	50 × 10 ⁶
Polimer						
Melamin-formaldehida	1.5	0.00030	27 × 10 ⁻⁶	10 ¹¹	9,000	1.3 × 10 ⁶
Fenol-formaldehida	1.3	0.00016	72 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁰	3,500	0.5 × 10 ⁶
Urea formaldehida	1.5	0.00030	27 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁰	10,300	1.5 × 10 ⁶
Karet (Sintetik)	1.5	0.00012	—	—	4-75	600-11,000
Karet (vulkanisir)	1.2	0.00012	81 × 10 ⁻⁶	10 ¹²	3,500	0.5 × 10 ⁶
Polietilen (L.D)	0.92	0.00034	180 × 10 ⁻⁶	10 ¹³ -10 ¹⁶	100-350	14,000-50,000
Polietilen (H.D.)	0.96	0.00052	120 × 10 ⁻⁶	10 ¹² -10 ¹⁶	350-1,250	50,000-180,000
Polistiren	1.05	0.00008	63 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁶	2,800	0.4 × 10 ⁶
Poliviniliden khlorida	1.7	0.00012	190 × 10 ⁻⁶	10 ¹¹	350	0.05 × 10 ⁶
politetraforetilen	2.2	0.00020	100 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁴	350-700	50,000-100,000
polimetil metakrilat	1.2	0.00020	90 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁴	3,500	0.5 × 10 ⁶
Nilon	1.15	0.00025	100 × 10 ⁻⁶	10 ¹²	2,800	0.4 × 10 ⁶

Daftar 3.1 Tambahan penyusutan yang disarankan.

Tambahan penyusutan	Bahan
8/1.000	Besi cor, baja cor tipis
9/1.000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut
10/1.000	sama dengan atas & aluminium.
12/1.000	Paduan aluminium, Brons, baja cor (tebal 5-7 mm)
14/1.000	Kuningan kekuatan tinggi, baja cor.
16/1.000	Baja cor (tebal lebih dari 10 mm)
20/1.000	Coran baja yang besar
25/1.000	Coran baja besar dan tebal

Daftar 2.1 Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam.

Bahan	Titik cair (°C)	Berat jenis (g/cm ³)	Koefisien kekentalan (g/cm. detik)	Koefisien kekentalan kinematik (cm ² /detik)	Tegangan permukaan (dine/cm)	Tegangan permukaan berat jenis (cm ³ /detik ²)
Air	0	0,9982(20°C)	0,010046(20°C)	0,010064	72(20°C)	72
Air raksa	-38,9	13,56 (20)	0,01547 (20)	0,00114	465(20)	34,5
Tin	232	5,52 (232)	0,01100 (250)	0,00199	540(247)	97,8
Timbal	327	10,55 (440)	0,01650 (400)	0,00156	450(330)	42,6
Seng	420	6,21 (420)	0,03160 (420)	0,00508	750(500)	120
Aluminium	660	2,35 (760)	0,0055 (760)	0,00234	520(750)	220
Tembaga	1.083	7,84 (1.200)	0,0310 (1.200)	0,00395	581(1.200)	74
Besi	1.537	7,13 (1.600)	0,000 (1.600)	0,00560	970(1.600)	136
Besi cor	1.170	6,9 (1.300)	0,016 (1.300)	0,0023	1.150(1.300)	167

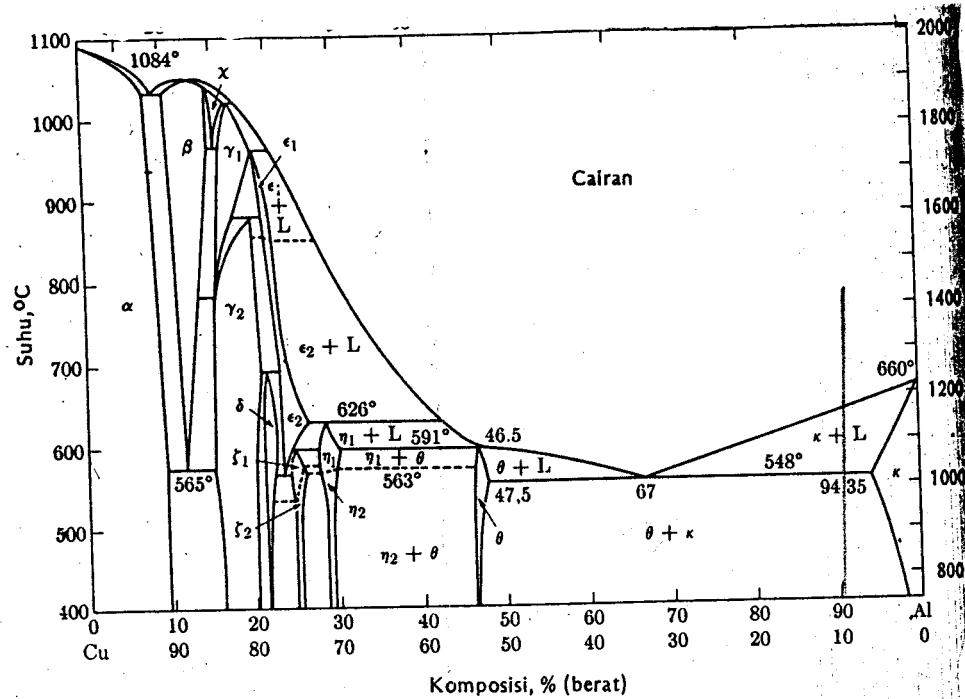
TABLE 5 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B 100.
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G 92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

TABLE 9 Approximate Hardness Conversion Numbers for Wrought Aluminum Products ^A

Brinell Hardness Number 500-kgf Load, (10-mm Ball)	Vickers Hardness Number 15-kgf Load.	Rockwell Hardness Number			Rockwell Superficial Hardness Number		
		B Scale 100-kgf Load. 1/16-in. Ball	E Scale 100-kgf Load. 1/8-in. Ball	H Scale 60-kgf Load. 1/16-in. Ball	15-T Scale 15-kgf Load. 1/16-in. Ball	30-T Scale 30-kgf Load. 1/16-in. Ball	15-W Scale 15-kgf Load. 1/16-in. Ball
160	189	91	...	...	89	77	95
155	183	90	...	...	89	76	95
150	177	89	...	...	89	75	94
145	171	87	...	...	88	74	94
140	165	86	...	...	88	73	94
135	159	84	...	...	87	71	93
130	153	81	...	...	87	70	93
125	147	79	...	...	86	68	92
120	141	76	101	...	86	67	92
115	135	72	100	...	86	65	91
110	129	69	99	...	85	63	91
105	123	65	98	...	84	61	91
100	117	60	...	...	83	59	90
95	111	56	96	...	82	57	90
90	105	51	94	108	81	54	89
85	98	46	91	107	80	52	89
80	92	40	88	106	78	50	88
75	86	34	84	104	76	47	87
70	80	28	80	102	74	44	86
65	74	...	75	100	72	...	85
60	68	...	70	97	70	...	83
55	62	...	65	94	67	...	82
50	56	...	59	91	64	...	80
45	50	...	53	87	62	...	79
40	44	...	46	83	59	...	77

^A Data were generated in an interlaboratory test program conducted by ASTM Subcommittee E28.06. Supporting data available from ASTM Headquarters. Request RR. E28-1005.



Gamb. 9-5.3 Diagram Al-Cu. (Dikutip dari *Metals Handbook*, American Society for Metals.)